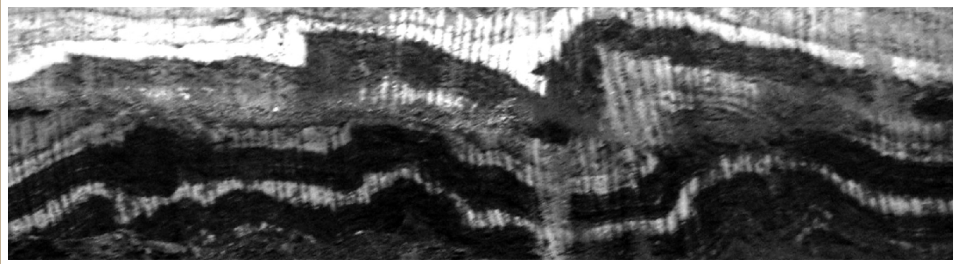
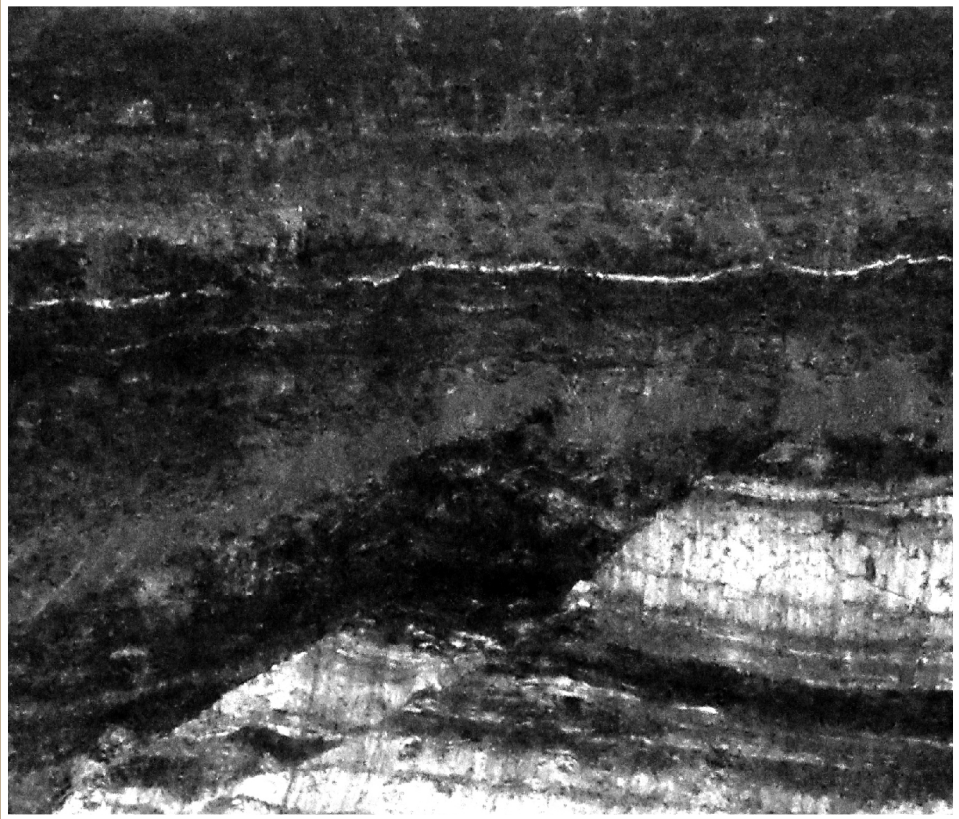


MAREK WIDERA

GEOLOGIA POLSKICH ZŁÓŻ WĘGLA BRUNATNEGO



Marek Widera

Geologia polskich złóż węgla brunatnego

Marek Widera

Geologia polskich złóż węgla brunatnego

Bogucki Wydawnictwo Naukowe • Poznań 2021

Autor:

Marek Widera

Instytut Geologii

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

e-mail: widera@amu.edu.pl

Recenzent: prof. AGH dr hab. inż. Barbara Bielowicz

Fotografie na okładce: Marek Widera

Publikacja książki została sfinansowana z grantu Narodowego Centrum Nauki,
nr umowy UMO-2017-27/B/ST10/00001

Copyright © by Marek Widera, Poznań 2021

ISBN 978-83-7986-364-8

Bogucki Wydawnictwo Naukowe

ul. Górna Wilda 90, 61-576 Poznań

e-mail: biuro@bogucki.com.pl

www.bogucki.com.pl

Druk i oprawa:

PerfektDruk

Spis treści

Przedmowa	9
Objaśnienia skrótów i symboli użytych w tekście	11
1. Wprowadzenie	13
1.1. Kilka słów o „czarnym” i „tłustej, czarnej ziemi”	13
1.2. Zarys historii wydobycia węgla brunatnego na ziemiach polskich ..	13
2. Gospodarcze znaczenie węgla brunatnego	18
2.1. Zasoby i wydobycie	18
2.2. Wykorzystanie	19
3. Zarys chemii węgla	21
3.1. Węgiel jako pierwiastek	21
3.2. Właściwości chemiczne węgla pierwiastkowego	22
3.3. Właściwości chemiczne substancji roślinnych	22
3.3.1. Celuloza	22
3.3.2. Lignina	23
3.3.3. Białka	23
3.3.4. Tłuszcze	23
3.3.5. Woski	23
3.3.6. Żywice	24
3.3.7. Kutyna	24
3.3.4. Inne składniki	24
4. Pozycja węgla brunatnego w różnych klasyfikacjach	26
4.1. Węgiel brunatny w szeregu węglowym	26
4.2. Porównanie klasyfikacji międzynarodowych	26
4.3. Klasyfikacje technologiczne	28
4.4. Klasyfikacja makropetrograficzna	30
4.4.1. Węgiel ksylitowy	32
4.4.2. Węgiel detrytowy	32
4.4.3. Węgiel detroksylitowy	33
4.4.4. Węgiel ksylodetrytowy	33
4.4.5. Węgiel bitumiczny	33
4.4.6. Węgiel fuzynowy	35
4.4.7. Węgiel wietrzeniowy	35
4.4.8. Zastosowanie badań makropetrograficznych	35

4.5. Mikropetrograficzne składniki węgla	38
4.5.1. Grupa huminitu	39
4.5.2. Grupa liptynitów	40
4.5.3. Grupa inertynitów	40
4.5.4. Zastosowanie badań mikropetrograficznych	40
5. Geneza węgla brunatnego	41
5.1. Roślinność torfotwórcza i nietorfotwórcza	41
5.1.1. Roślinność wodna i szuwarowa	41
5.1.2. Roślinność lasu bagiennego	42
5.1.3. Roślinność torfowiska krzewiastego	43
5.1.4. Roślinność nietorfotwórcza	44
5.1.5. Odtworzenie składu roślinności torfotwórczej	45
5.2. Uwęglenie materii roślinnej	46
5.2.1. Faza biochemiczna	47
5.2.2. Faza geochemiczna	48
6. Złóża węgla brunatnego	52
6.1. Regionalizacja złóż	52
6.1.1. Region zachodni – I	52
6.1.2. Region konińsko-adamowski – II	53
6.1.3. Region łódzko-bełchatowski – III	53
6.1.4. Region wielkopolski – IV	56
6.1.5. Region legnicko-ścianawski – V	56
6.1.6. Region północno-zachodni – VI	56
6.1.7. Region radomski – VII	56
6.2. Stratygrafia pokładów w złóżach	57
6.2.1. Pokłady główne	58
6.2.2. Pokłady towarzyszące	61
6.3. Bilansowość, zasoby i waloryzacja złóż	62
6.3.1. Parametry geologiczno-górniczne	63
6.3.2. Parametry chemiczno-technologiczne	63
6.3.3. Zasoby	64
6.3.4. Kategorie rozpoznania	64
6.3.5. Waloryzacja złóż niezagospodarowanych	65
6.4. Budowa geologiczna wybranych złóż	67
6.4.1. „Sieniawa”	67
6.4.2. „Turów”	72
6.4.3. „Gubin”, „Gubin-Zasieki-Brody” i „Mosty”	78
6.4.4. „Lubstów”	82
6.4.5. „Adamów”	87
6.4.6. „Tomisławice”	91
6.4.7. „Pątnów IV”	95
6.4.8. „Bełchatów” i „Szczerców”	99
6.4.9. „Złoczew”	108
6.4.10. „Rogóżno”	111

6.4.11. „Szamotuły”	114
6.4.12. „Gostyń”	116
6.4.13. „Poniec-Krobia” i „Oczkowice”	120
6.4.14. „Legnica Zachód”	125
6.5. Typy genetyczne złóż	128
6.5.1. Typ epejrogeniczny	129
6.5.2. Typ tektoniczny	130
6.5.3. Typ krasowy	131
6.5.4. Typ glacitektoniczny	135
6.5.5. Typy złożone	135
7. Geologia złóż węgla brunatnego w wybranych zagłębiach europejskich	138
7.1. Zagłębie Dolnoreńskie – Niemcy	138
7.2. Zagłębie Północnoczeskie – Czechy	144
7.3. Zagłębie Velenje – Słowenia	150
7.4. Porównanie wybranych zagłębi węgla brunatnego	156
8. Perspektywa rozwoju górnictwa węgla brunatnego w Polsce	159
8.1. Alternatywne sposoby wykorzystania	159
8.2. Polityka klimatyczna i środowisko	160
Literatura	164
Indeks nazw	177

Przedmowa

Węgiel brunatny od kilkudziesięciu lat odgrywa znaczącą rolę w polskiej gospodarce, a w szczególności w energetyce. Lata 50.–70. ubiegłego stulecia były zapewne „złotym” okresem w poszukiwaniu i geologicznym rozpoznaniu większości współcześnie znanych paleogeńsko-neogeńskich złóż, głównie wieku miocenńskiego. Powstawały wtedy specjalne jednostki organizacyjne na uczelniach wyższych, w instytutach i przedsiębiorstwach geologicznych poświęcone wyłącznie węglowi brunatnemu. W tym czasie funkcjonowało wiele odkrywek, z których część była zamykana, część otwierana, a inne przygotowywane do uruchomienia. Dlatego dzięki danym z kilkudziesięciu tysięcy otworów wiertniczych i licznym obserwacjom w odkrywkach kopalnianych udało się dobrze poznać budowę geologiczną większości polskich złóż węgla brunatnego.

Pomimo powolnego odchodzenia od węgla brunatnego i dużego ograniczenia prac poszukiwawczo-rozpoznawczych, ta cenna kopalina wciąż stanowi 25–30% w polskim miksie energetycznym. Wiąże się to z funkcjonowaniem górnictwa odkrywkowego i ciągłą wymianą kadry kształconej na uczelniach, m.in. w specjalnościach geologicznych i górniczych. Zainteresowanie złożami węgla brunatnego wynika także ze współistnienia skał, które trzeba odsłonić i odtransportować w celu wydobycia węgla. W ich obrębie występują tzw. kopaliny towarzyszące przydatne w przemyśle ceramiki budowlanej (iły, piaski), w kamieniarstwie (piaskowce kwarcytoczne, głazy skandynawskie – eratyki) oraz interesujące dla okolicznej ludności (piaski, żwiry, torfy) lub dla kolekcjonerów (bursztyn, czarne dęby). Oczywiście nie należy zapominać o ogromnej wartości poznawczej odsłonięć kopalnianych dla badań podstawowych, takich jak: stratygrafia, petrografia, mineralogia, sedymentologia, tektonika, hydrogeologia itd.

Z drugiej strony, dominacja w geologii literatury anglojęzycznej, a w przypadku nazewnictwa paleontologicznego terminologii łacińskiej, utrudnia zrozumienie oryginalnych i bardzo specjalistycznych tekstów naukowych. Dlatego prezentowane opracowanie ma głównie na celu przybliżenie jak najszerszemu gronu czytelników (geologom i górnikom, badaczom obszarów węglonośnych, studentom, innym osobom zainteresowanym) budowę geologiczną polskich złóż węgla brunatnego. Osiągnięto to poprzez podanie podstawowej wiedzy na temat: roli węgla brunatnego w gospodarce, jego klasyfikacji, stratygrafii pokładów, genezy itd. W niektórych przypadkach przedstawiono źródłosłów używanych terminów oraz podano angielskie i/lub niemieckie odpowiedniki polskich nazw, także

polskie odpowiedniki łacińskich nazw (np. roślinności torfotwórczej) i *vice versa*. W końcowych rozdziałach scharakteryzowano i porównano z polskimi złożami geologię złóż i górnictwo węgla brunatnego w wybranych europejskich zagłębiach węglowych. Wreszcie nakreślono perspektywę rozwoju górnictwa węgla brunatnego w Polsce w kontekście alternatywnych sposobów jego wykorzystania i polityki klimatycznej.

Niniejsza monografia jest efektem blisko 30-letniego zbierania materiałów i prowadzenia przez autora badań na obszarach polskich złóż węgla brunatnego, głównie tych, w których była i jest prowadzona eksploatacja. Jej powstanie nie byłoby jednak możliwe bez życzliwości i wsparcia wielu osób z polskich kopalń, w szczególności pracowników ich działów geologicznych. Wymienić tutaj pozwolę sobie tylko nielicznych z nich: J. Bartoszek, M. Dziamara, R. Grzeszczyk, G. Jachna-Filipczuk, S. Kaczkowski, B. Owczarek (KWB Adamów), G. Dydak, D. Gradecki, K. Komorowski, J. Materski, S. Mazurek, E. Orkowska, E. Sulejczak, A. Szamałek, R. Wachocki (KWB Konin), R. Frankowski, M.W. Jończyk, E. Silar-ska (KWB Bełchatów), E. Dąbrowska, Z. Marek, M. Szkudlarek (KWB Turów), A. Bik, M. Dziekan, J. Jarosz (KWB Sieniawa). Za pomoc i wspianą atmosferę dziękuję też studentom geologii UAM, zwłaszcza moim magistrantom i doktorantce, L. Chomiak, którzy towarzyszyli mi często podczas badań w odkrywkach kopalnianych.

Za konsultacje paleobotaniczne pragnę gorąco podziękować prof. prof. E. i G. Worobcom (Kraków) oraz prof. B. Słodkowskiej (Warszawa). Natomiast prof. B. Bielowicz (Kraków) wyrażam wdzięczność za konsultacje mikropetrograficzne oraz trud zrecenzowania manuskryptu niniejszej monografii. Ponadto prof. Z. Kasztelewiczowi (Kraków), prof. J. Przybyłkowi (Poznań) i mgr. P. Urbańskiemu (Warszawa) oraz doc. dr. hab. A. Bechtelowi (Leoben, Austria), dr. K. Machowi (Bílina, Czechy) i dr. M. Markičowi (Ljubljana, Słowenia) dziękuję bardzo uprzejmie za udostępnienie lub pomoc w zdobyciu niektórych rycin i danych geologicznych. Nie mogę też pominąć prof. M. Wagnera (Kraków), z którym liczne rozmowy (bezpośrednie, telefoniczne i *via* e-mail) były bardzo inspirujące i znalazły przynajmniej częściowo odzwierciedlenie w poniższym tekście.

Wreszcie chciałbym podziękować mojej żonie, Iwonie, za wsparcie i cierpliwość, którą wykazała się w ostatnich latach, tj. w czasie licznych wyjazdów w teren, zbierania materiałów i przygotowywania manuskryptu opracowania, które oddaję w Państwa ręce.

Marek Widera
Instytut Geologii UAM

Objaśnienia skrótów i symboli użytych w tekście

- A^d – zawartość popiołu (popielność) w stanie suchym
- ASTM – Amerykańskie Stowarzyszenie Badań i Materiałów (ang. *American Society for Testing and Materials*)
- atm – atmosfera fizyczna (atmosfera normalna = 101,325 kPa)
- BP SRWE – BP Przegląd Statystyczny Światowej Energii 2019 (ang. *BP Statistical Review of World Energy 2019*)
- BiH – Bośnia i Hercegowina (ang. *Bosnia and Herzegovina*)
- BGR – Federalny Instytut Nauk o Ziemi i Surowcach (niem. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*)
- C – pierwiastek węgiel (łac. *carboneum*)
- C^{daf} – zawartość pierwiastka C w węglu w stanie suchym i bezpopiołowym (ang. *content of C in coal/lignite on dry and ash-free basis*)
- CPPGSMiE – Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
- DIN – Niemiecki Instytut Normalizacyjny (niem. *Deutsches Institut für Normung*)
- ECE-UN – Europejska Komisja Gospodarcza Narodów Zjednoczonych (ang. *United Nations Economic Commission for Europe*)
- ECRIS – europejski kenozoiczny system ryftowy (ang. *European Cenozoic Rift System*)
- GWh – gigawatogodzina
- ICCP – Międzynarodowy Komitet Petrografii Organicznej i Węgla (ang. *International Committee for Coal and Organic Petrology*)
- IEA – Międzynarodowa Agencja Energetyczna (ang. *International Energy Agency*)
- IGSMiE – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
- ISO – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ang. *International Organization for Standardization*)
- KSE – Krajowy System Elektroenergetyczny
- KWB Adamów – Kopalnia Węgla Brunatnego Adamów
- KWB Bełchatów – Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów
- KWB Konin – Kopalnia Węgla Brunatnego Konin
- KWB Sieniawa – Kopalnia Węgla Brunatnego Sieniawa
- KWB Turów – Kopalnia Węgla Brunatnego Turów
- N Macedonia – Macedonia Północna (ang. *North Macedonia*)

- NRD – Niemiecka Republika Demokratyczna (niem. *Deutsche Demokratische Republik, DDR*)
- OZE – odnawialne źródła energii
- PAN – Polska Akademia Nauk
- PEP – Polityka energetyczna Polski
- pH – kwasowość–zasadowość roztworu wodnego związku chemicznego
- PIG – Państwowy Instytut Geologiczny
- PN – polska norma
- PSE – Polskie Sieci Elektroenergetyczne
- PZZ – projekt zagospodarowania złoża
- redoks – redukcyjno-oksydacyjny
- RWE – Reńsko-Westfalskie Elektrownie (niem. *Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG*)
- RFN – Republika Federalna Niemiec (niem. *Bundesrepublik Deutschland*)
- R_o – refleksyjność ulminitu B/witrynytu (ang. *ulminite B/vitrite reflectance*)
- Q^{af} – ciepło spalania w stanie bezpopiołowym (ang. *calorific values on ash-free basis*)
- Q_i^r – wartość opałowa w stanie roboczym
- S_t^d – zawartość siarki całkowitej w stanie suchym
- TSUE – Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej
- UCG – podziemne zgazowanie węgla (ang. *underground coal gasification*)
- USA – Stany Zjednoczone Ameryki (ang. *United States of America*)
- V^{daf} – zawartość części lotnych w stanie suchym bezpopiołowym (ang. *volatile matter on dry and ash-free basis*)
- w.b. – węgiel brunatny
- W_t^r – wilgoć całkowita (ang. *total water content*)
- ZE PAK – Zespół Elektrowni Pątnów–Adamów–Konin

1. Wprowadzenie

1.1. Kilka słów o „czarnym” i „tłustej, czarnej ziemi”

Za początek geologii polskich złóż węgla brunatnego, tak samo jak w przypadku jego górnictwa, należy przyjąć 1151 rok (Ciuk 1994, Widera 2000). Dowodzi tego pośrednio inskrypcja na piaskowcu kwarcyticznym, z którego wykonano najstarszy znak drogowy w Europie, poza granicami byłego imperium rzymskiego. Jest to słup milowy, zwany też Słupem Konińskim (Skoczylas 2016), będący najbardziej znanym symbolem Konina (ryc. 1). We wsi Brzeźno, oddalonej około 4 km na wschód od Konina, wydobyto ten piaskowiec, na którym zalegał węgiel brunatny (Skoczylas 1994). Niemniej jednak przez miejscową ludność przez stulecia, aż do drugiej połowy XX wieku, węgiel brunatny był nazywany „czarne” (Kowalczykiewicz 1995). Wynikało to z faktu, że mokry lub silnie wilgotny węgiel brunatny ma barwę czarną. Natomiast na Ziemi Lubuskiej jeszcze na początku XIX wieku używano dla węgla brunatnego bardziej opisowej niemieckojęzycznej nazwy, którą można tłumaczyć jako „tłusta, czarna ziemia” (Gontaszewska 2015, 2016).

Obecna nazwa węgla brunatnego jest kalką językową od niemieckiego *Braunkohlen*. Wraz z rozwojem górnictwa tej kopaliny (od lat 20. XIX wieku) termin węgiel brunatny w jego narodowych odmianach upowszechnił się w wielu krajach europejskich (np. *brunica* – języki łużyckie, *hnědé uhli* – język czeski, *barnaszén* – język węgierski, *буры вугаль* – język białoruski, *бурый уголь* – język rosyjski itd.) i w Australii – w wersji anglojęzycznej jako *brown coal*. Aczkolwiek, np. w USA, w klasyfikacjach międzynarodowych i przeważającej części światowej literatury używany jest termin *lignite*, który jest zbliżony, ale nie tożsamy z terminem *brown coal*. Dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na zakres znaczeniowy używanej terminologii w różnych klasyfikacjach (Kwiecińska, Wagner 1997, ECE-UN 1998, ASTM D 388:2005).

1.2. Zarys historii wydobycia węgla brunatnego na ziemiach polskich

Węgiel brunatny był zapewne znany już starożytnym plemionom, które zamieszkiwały tereny jego naturalnych wychodni, np. w klifach Bałtyku (Pobrzeże Kaszubskie), w skarpach dolin rzecznych (Nysa Łużycka, Warta, Noteć) lub na

wyciśnięciach glacictektonicznych (Ziemia Lubuska, Dolny Śląsk, Wielkopolska, Pomorze Zachodnie i Pomorze Wschodnie). Niemniej jednak przez długie stulecia przegrywał on konkurencję z drewnem z okolicznych puszczy, które było łatwiejsze do pozyskania i transportu, a przede wszystkim lepiej się paliło (Ciuk 1994, Widera 2000). Z biegiem czasu, ze względu na niedobór drewna, zaczęto używać występującego w pobliżu węgla brunatnego. Z piśmiennictwa wiadomo, że już w 1740 roku w okolicy Turoszowa i Krzelkowa (koło Ziębic) na Dolnym Śląsku odkryto płytko zalegające warstwy węgla, który następnie był wydobywany systemem odkrywkowym przez okoliczną ludność. W 1780 roku w Zatoniu (koło Turoszowa) uruchomiono pierwszą na obecnych ziemiach polskich kopalnię głębinową węgla brunatnego (Ciuk 1991).

Przez następne ponad 100 lat (do początków XX wieku) eksploatacja podziemna dominowała, co skutkowało funkcjonowaniem w niektórych okresach nawet kilkudziesięciu (łącznie ok. 130 zarejestrowanych i wielu niezarejestrowanych) pojedynczych szybów, pochylni i chodników (Jaros 1984, Ciuk 1991, 1994). Prawdziwy „boom” na węgiel brunatny, głównie na Dolnym Śląsku i Ziemi Lubuskiej – teren zaboru pruskiego, nastąpił w latach 40. XIX wieku wraz z postępem rewolucji przemysłowej i upowszechnieniem maszyny parowej w przemyśle włókienniczym, papierniczym, gorzelnictwie, cukrownictwie, a także do wypalania cegły i w hutach szkła. Ponadto powstawały brykietownie przy większych kopalniach w następujących miejscowościach: Cybinka (Bach), Kaławsk (Standt Görllitz), Lubań (Glückauf), Smogóry (Oskar i Eduard) i Zielona Góra (Consolidierte Grünberger Gruben) (Jaros 1984, Ciuk 1991, Gontaszewska 2015, 2016, Ratajczak, Hycnar 2017). W tym czasie (1873 rok) rozpoczęła wydobywanie również kopalnia w Sieniawie pod nazwą Emiliensglück, która jako KWB Sieniawa funkcjonuje do dzisiaj (Zdanowicz 2010). Ponad 30 lat później (1904 rok) poprzez połączenie wielu okolicznych szybów utworzono kopalnię odkrywkową Herkules, która obecnie nosi nazwę KWB Turów. Przed II wojną światową (1937 rok) na terenach zachodniej Polski, wówczas należących do Niemiec, wyeksploatowano około 5 mln ton węgla brunatnego i wyprodukowano 373 tys. ton brykietów. Natomiast na całym obszarze II Rzeczypospolitej w tym samym roku wydobyto ponad 300 razy mniej węgla, tj. około 15 tys. ton (Jaros 1973).

Kilka słów należy poświęcić także twardym węglom brunatnym, z wyglądu przypominającym bardziej węgiel kamienny niż powszechnie znane, obecnie eksploatowane miękkie węgle brunatne. Polska jest raczej uboga w twarde węgle brunatne, które występują w 20 częściach kraju, w osadach wieku od późnego triasu do środkowego miocenu (Wagner 2013). Niemniej jednak historia ich rozpoznania i eksploatacji jest dość długa. Część twardego węgla brunatnego odsłania się na powierzchni terenu, np. w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej (miocen, okolice Jabłonki–Koniówki–Chochołowa), w niecce północnosudeckiej (górną kreda, okolice Bolesławca–Lwówka Śląskiego), na Jurze Polskiej (dolna Jura, okolice Zawiercia) i wzdłuż południowej granicy zapadliska przedkarpackiego (środkowy miocen, okolice Pilzna). Tylko w dwóch ostatnich przypadkach można mówić o zorganizowanym górnictwie tej kopaliny. W Blanowicach koło Zawiercia w małych ilościach był eksploatowany tzw. węgiel blanowicki już w 1796 roku (Wójcik, Preidl 2014).

Kolejne niewielkie kopalnie (ponad 40, najczęściej system płytkich szybów i chodników) funkcjonowały po kilka–kilkanaście, a rzadko kilkadziesiąt lat. Wyraźny wzrost wydobycia nastąpił dopiero na początku XX wieku. Największe wydobycie węgla blanowickiego, w ilości ponad 238 tys. ton, osiągnięto w 1920 roku. W kolejnych latach wydobywano go jednak coraz mniej, aż do zamknięcia kopalni Marta w Porębie (okolicie Zawiercia) w 1959 roku (Wójcik, Preidl 2014). Natomiast w drugim przypadku, w Grudnie Dolnej koło Pilzna, twardy węgiel brunatny (tzw. grudzki skarb) był eksploatowany w latach 1859–1958, z długotrwałymi przerwami w latach 1901–1926 i 1948–1955. Wielkość wydobycia była względnie mała i podlegała dużym wahaniom (zmienna koniunktura, pożary, spory o dzierżawę terenu), tj. od kilkuset ton rocznie do ponad 2 tys. ton w latach 1926–1935. Twardy węgiel brunatny w Grudnie Dolnej wydobywany był w co najmniej 9 szybach w całej historii kopalni, którą ostatecznie zamknięto w 1958 roku (Białas, Białas 1998).

Przełom w górnictwie i geologii węgla brunatnego w Polsce stanowi okres II wojny światowej (lata 1939–1945), a przede wszystkim jej zakończenie. Zasadniczo czasy wojenne nie sprzyjają inwestowaniu w prace poszukiwawczo-rozpoznawcze oraz w budowanie nowych kopalń i innej infrastruktury, np. brykietowni, elektrowni i zakładów przeróbki chemicznej. Można wskazać jednak dwa wyjątki od tej ogólnej zasady, tj. okolice Ostrowca Świętokrzyskiego i okolice Konina. W pierwszym przypadku chodzi o małą kopalnię węgla brunatnego Barbara w Miłkowie, która istniała w latach 1940–1944. Maksymalne wydobycie, sięgające 3,2 tys. ton, osiągnęła ona w 1943 roku (Ciuk 1991). Z kolei w okolicach Konina już w 1942 roku Niemcy uruchomili dużą i jedyną kopalnię na dawnych ziemiach II Rzeczypospolitej, które później weszły w skład nowego państwa polskiego. Węgiel na skalę przemysłową wydobywany był odkrywkowo ze złoża „Morzysław”, z którego przeważająca część urobku (od 1943 roku) dostarczana była kolejką linową do brykietowni w Marantowie (Kowalczykiewicz 1995,



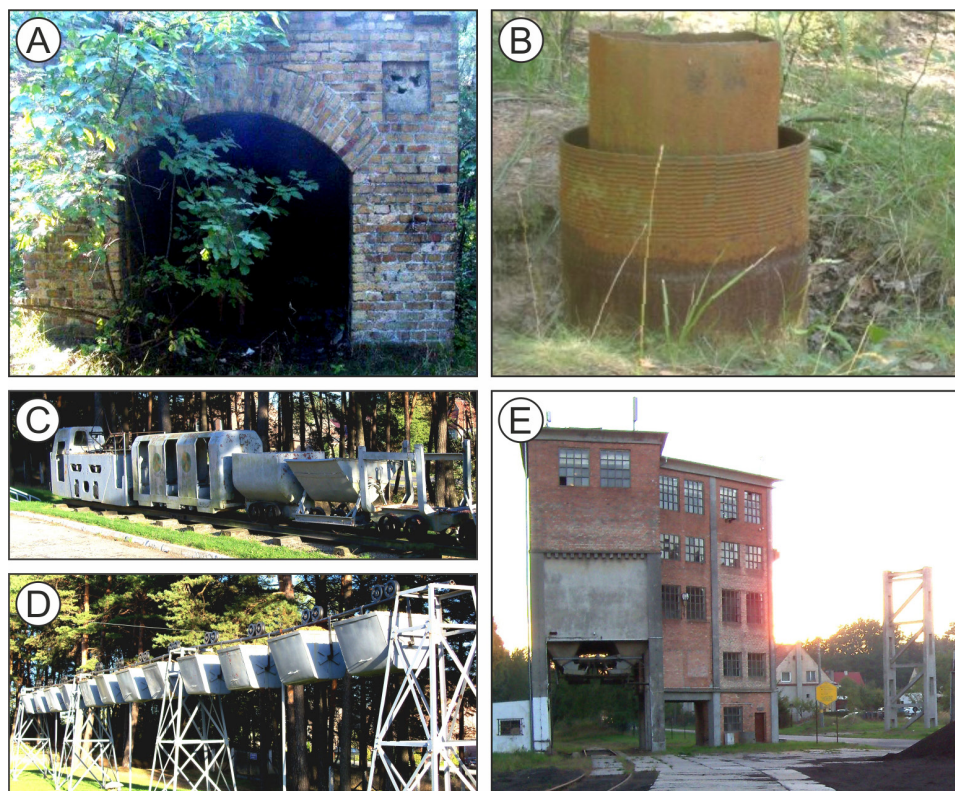
Romański słup drogowy z inskrypcją z 1151 r., ustawiony przez tutejszego wojewodę książęcego Piotra (petrus comes hic palatinus) na oznaczenie połowy drogi między Kaliszem a Kruszvicą na ważnym szlaku handlowym i państwowym oraz jako oznaka drogowego miru książęcego.
Jest to najstarszy znak drogowy w Europie, poza granicami dawnego imperium rzymskiego

Ryc. 1. Słup milowy w Starym Koninie z inskrypcją z 1151 roku, która datuje początek górnictwa i geologii złóż węgla brunatnego na ziemiach polskich (fot. M. Widera)

Widera 2000). Łącznie co najmniej 345 kopalń (wliczając pojedyncze szyby) wydobywało węgiel brunatny do 1945 roku na terenach obecnie należących do Polski (Jaros 1984, Kasztelewicz 2004). Wraz z wyzwoleniem kraju spod niemieckiej okupacji Polska przejęła 13 małych, podziemnych kopalń, np. Babina w Łęknicy, Henryk w Żarach, Kaławsk w Węglińcu, Sieniawa w Sieniawie, Słone w Zielonej Górze, Smogóry w Ośnie Lubuskim i 2 duże kopalnie odkrywkowe w Koninie-Morzysławiu – późniejsza KWB Konin i w Turosszowie – późniejsza KWB Turów. W pierwszych powojennych latach borykano się jednak z wieloma poważnymi problemami, takimi jak: zniszczona infrastruktura, brak wykwalifikowanej załogi i problemy polityczne w przypadku kopalni turosszowskiej – początkowo nadzorowanej przez władze radzieckie oraz podzielonej między Polskę (odkrywka) a Niemiecką Republikę Demokratyczną (elektrownia Hirschfelde i warsztaty naprawcze). Jednak po kilku latach rozpoczął się okres dynamicznego rozwoju polskiego górnictwa i energetyki opartej na węglu brunatnym, co nierozzerwalnie wiązało się z postępem badań geologicznych złóż tej cennej kopaliny. Warto zauważyć, że w 1946 roku całkowite wydobycie węgla brunatnego w Polsce wynosiło około 1,45 mln ton. Stanowi to w przybliżeniu 2% w porównaniu ze szczytowym okresem rozwoju polskiego górnictwa tej kopaliny w 1988 roku, kiedy produkcja węgla brunatnego osiągnęła prawie 73,5 mln ton (Kasztelewicz 2004).

Do 1958 roku wydobycie węgla brunatnego ustabilizowało się na poziomie 5–5,5 mln ton, z czego ponad 80% eksportowano do przygranicznej elektrowni Hirschfelde. Wtedy uruchomiono elektrownię Konin, co spowodowało skokowy wzrost zapotrzebowania na węgiel w kraju. Dynamiczny rozwój górnictwa węgla brunatnego w latach 60.–80. poprzedniego stulecia był stymulowany uruchamianiem kolejnych elektrowni, intensyfikacją wydobycia w istniejących już kopalniach Konin i Turów i budową kopalń w nowych zagłębiach węglowych. Pierwsze bloki energetyczne oddawano do użytku w następujących latach: 1962 – elektrownia Turów, 1964 – elektrownia Adamów, 1969 – elektrownia Pątnów, 1981 – elektrownia Bełchatów. Funkcjonowanie elektrowni Adamów i Bełchatów było skutkiem rozpoczęcia eksploatacji węgla z pobliskich złóż, co nastąpiło w 1964 roku – KWB Adamów i w 1980 roku – KWB Bełchatów (Piasecki 1999, Kasztelewicz 2004, Tajduś i in. 2014, Ratajczak, Hycnar 2017). Warto zauważyć, że w sąsiedztwie KWB Sieniawa nigdy nie powstała elektrownia opalana węglem brunatnym (Zdanowicz 2010). Ślady dawnego górnictwa węgla brunatnego na obecnych ziemiach polskich można z łatwością znaleźć w różnych częściach kraju (ryc. 2).

Po szczycie wydobycia we wzmiankowanym 1988 roku (73,5 mln ton), w następnych latach wydobycie węgla brunatnego w Polsce wykazywało trend lekko spadkowy do poziomu około 56,5 mln ton w 2010 roku. Później zaczęło rosnąć (uruchomienie odkrywki Szczerców i nowego bloku energetycznego w elektrowni Bełchatów) do poziomu około 66 mln ton w 2013 roku (Widera i in. 2016), by w kolejnych latach drastycznie spaść do poziomu 52,9 mln ton w 2019 roku (Mazurek, Tymiński 2020) i 45,8 mln ton w 2020 roku (Pietraszewski 2021). Najważniejszymi tego przyczynami są: polityka klimatyczno-energetyczna w UE, przestarzałe bloki energetyczne (np. zamknięcie elektrowni Adamów w 2018



Ryc. 2. Ślady dawnego górnictwa węgla brunatnego na Łuku Mużakowa i w rejonie Sieniawy (fot. M. Widera)

A – wejście z obudową ceglana do pochylni upadkowej w okolicy Nowych Czaplí; B – pozostałości obudowy studni do odwadniania pokładu węglowego w okolicy Łęknicy; C i D – zrekonstruowany skład kolei podziemnej i wagoniki kolejki linowej (przed siedzibą dyrekcji KWB Sieniawa w Sieniawie); E – załadownia węgla i słup kolejki linowej (po prawej stronie) w okolicy Sieniawy

roku), wyczerpywanie się eksploatowanych złóż (np. okolice Turku i Konina) i silny opór społeczny przeciwko budowie nowych odkrywek węgla brunatnego (np. okolice Gubina, Oczkowic, Konina) (Naworyta 2010, Naworyta, Badera 2012, Badera, Kocoń 2014, Tajduś i in. 2014, Kasztelewicz i in. 2018). Wymienione kwestie zostaną bardziej szczegółowo omówione i przedyskutowane w dalszych rozdziałach tej monografii.

2. Gospodarcze znaczenie węgla brunatnego

2.1. Zasoby i wydobycie

Na koniec 2018 roku światowe, potwierdzone zasoby bilansowe (ang. *reserves*) węgla brunatnego obliczono na ponad 320 mld ton. Natomiast pozostałe szacowane zasoby geologiczne (ang. *resources*) tej kopaliny wynosiły 3672 mld ton (BP 2019, BGR 2020). Największymi zasobami bilansowymi dysponują USA (ponad 37%), zaś największe szacowane zasoby geologiczne węgla brunatnego znajdują się w Rosji (ponad 28%). Ogromne zasoby tej kopaliny występują także w innych krajach, a Polska z 5,8 mld ton potwierdzonych zasobów bilansowych zajmuje 10. pozycję w tym rankingu (tab. 1).

W 2018 roku wydobyto blisko 1,02 mld ton węgla brunatnego, z czego ponad 75% przypada na 10 krajów spośród 38 eksploatujących tę kopalinę (tab. 2, BGR 2020). W ostatnich latach największym producentem węgla brunatnego na świecie, podobnie jak w całej historii górnictwa tej kopaliny, były Niemcy, które w 2018 roku wydobyły 166,3 mln ton. W tym samym roku Polska, z produkcją na

Tabela 1. Zestawienie 10 krajów o największych potwierdzonych zasobach bilansowych węgla brunatnego na świecie (stan na koniec 2018 roku, za: BGR 2020)

Lp.	Kraj	Potwierdzone zasoby bilansowe	Szacowane zasoby geologiczne	Łącznie do wydobycia pozostało
			[% , (mld ton)]	
1	Rosja	28,2 (90,4)	14,7 (541,4)	631,8
2	Australia	23,9 (76,5)	11,0 (403,4)	479,9
3	Niemcy	11,2 (35,9)	1,0 (36,5)	72,4
4	USA	9,4 (30)	37,3 (1368,1)	1398,1
5	Indonezja	3,7 (11,7)	0,8 (28,0)	39,7
6	Turcja	3,4 (11)	0,1 (5,3)	16,3
7	Chiny	2,5 (8,1)	8,8 (324,1)	322,2
8	Serbia	2,2 (7,1)	0,4 (13,1)	20,2
9	Nowa Zelandia	2,1 (5,9)	–	–
10	Polska	1,8 (5,8)	6,1 (222,4)	228,2

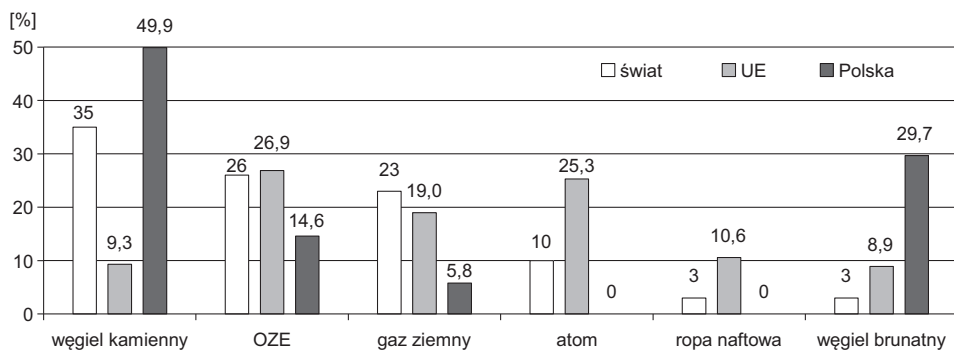
Tabela 2. Zestawienie 20 największych producentów węgla brunatnego na świecie w latach 2013–2018 (za: BGR 2020)

Lp.	Kraj	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Zmiana 2013/2018
		[mln ton]						[%]
1	Niemcy	183,0	178,2	178,1	171,5	171,3	166,3	-9,1
2	Chiny	147,0	145,0	140,0	140,0	145,0	150,0	2,0
3	Turcja	57,5	62,6	56,1	70,2	71,5	85,0	47,8
4	Rosja	73,0	70,0	73,2	73,7	75,0	80,0	9,6
5	Indonezja	65,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	-7,7
6	Polska	65,8	63,9	63,1	60,2	61,2	58,6	-10,9
7	USA	70,1	72,1	64,3	64,7	61,4	51,7	-26,2
8	Indie	44,3	48,3	43,8	45,2	46,7	45,3	2,3
9	Australia	59,9	58,0	61,0	59,8	56,1	45,1	-24,7
10	Czechy	40,6	38,3	38,3	38,6	39,3	39,2	-3,4
11	Serbia	40,1	29,7	37,7	38,4	39,8	37,5	-6,5
12	Grecja	53,9	50,8	46,2	32,6	37,7	36,1	-33,0
13	Bułgaria	26,5	31,3	35,9	31,2	34,4	30,3	14,3
14	Rumunia	24,7	23,6	25,5	23,0	25,7	23,6	-4,0
15	Laos	0,4	< 0,05	4,5	13,1	13,4	15,9	3875
16	Tajlandia	18,1	18,0	15,2	17,0	16,3	14,9	-17,7
17	BiH	11,8	11,7	12,2	13,6	13,8	14,0	18,6
18	Węgry	9,6	9,6	9,3	9,2	8,0	7,9	-17,7
19	Kanada	9,0	8,5	8,4	10,0	9,4	7,7	-14,4
20	Kosowo	8,2	7,2	8,2	8,8	7,6	7,2	-12,2

poziomie 58,6 mln ton, zajmowała 6. miejsce na świecie. Należy jednak zwrócić uwagę na dwa fakty. Po pierwsze, w niektórych krajach wielkość wydobycia podlega znacznym wahaniom, wynoszącym od kilkunastu do nawet kilkudziesięciu procent (np. Turcja, Grecja i Australia). Po drugie, w większości krajów zaznacza się w ostatnich latach wyraźna tendencja spadkowa w eksploatacji węgla brunatnego. Wyjątek stanowią kilka krajów (oprócz Laosu – wzrost o 3875%), w których wydobycie znacząco wzrasta, np.: Turcja, Bośnia i Hercegowina, Bułgaria i Rosja (tab. 2). Blisko 96% całkowitej (366,8 mln ton) produkcji węgla brunatnego w Unii Europejskiej zostało osiągnięte w 2018 roku przez sześć krajów, takich jak: Niemcy – 45%, Polska – 16%, Czechy – 11%, Grecja – 10%, Bułgaria – 8% i Rumunia – 6% (Euracoal 2019).

2.2. Wykorzystanie

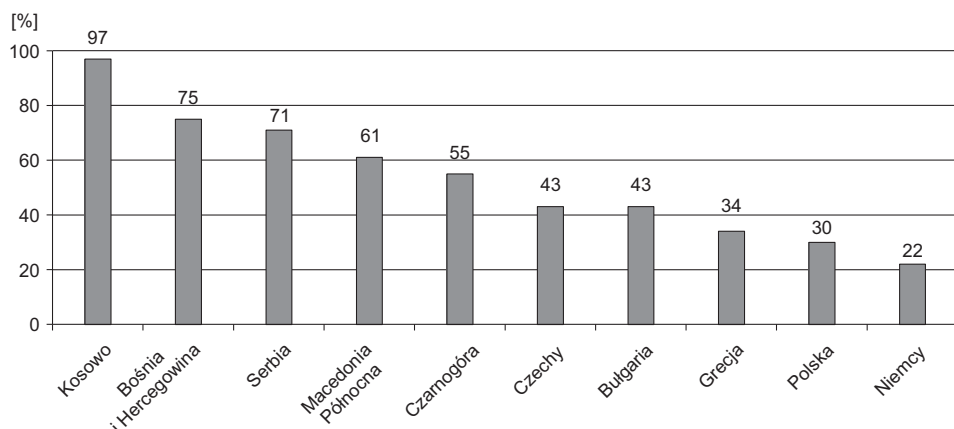
Udział węgla brunatnego w światowej produkcji energii elektrycznej wynosił 3% w 2018 roku, co w porównaniu z innymi źródłami energii elektrycznej jest wartością znikomą (ryc. 3). W Unii Europejskiej było to 8,9%, a w Polsce aż 29,7%.



Ryc. 3. Udział węgla brunatnego w strukturze produkcji energii elektrycznej na świecie, w Unii Europejskiej i w Polsce w 2018 roku (za: IEA 2019, PSE 2019)

Niemniej jednak pierwszy raz od kilkudziesięciu lat udział węgla brunatnego w polskiej energetyce spadł poniżej 30%. Wciąż blisko połowa polskiego prądu pochodzi ze spalania węgla kamiennego (ryc. 3, IEA 2019, PSE 2019).

Wspomniane 8,9% energii elektrycznej w Unii Europejskiej (ok. 229 tys. GWh) uzyskano ze spalania około 90% wydobytego węgla brunatnego. Pozostałe około 10% pochłonął głównie przemysł chemiczny, lokalne ciepłownictwo i rolnictwo. Wykorzystanie tej kopaliny do produkcji prądu było jednak nierównomierne, gdyż wynosiło od około 87% w Bułgarii, poprzez ponad 99% w Polsce, Rumunii i Słowacji, do 100% w Grecji (ryc. 4, Euracoal 2019). Z drugiej strony, niezależnie od wielkości wydobycia, energetyka w części krajów europejskich jest uzależniona od węgla brunatnego. Ponad 50% prądu powstaje w elektrowniach opalanych węglem brunatnym w następujących krajach: Kosowie, Bośni i Hercegowinie, Serbii, Północnej Macedonii i Czarnogórze (ryc. 4).



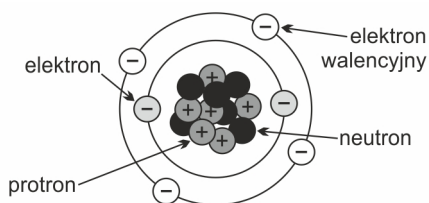
Ryc. 4. Kraje o największym udziale energii elektrycznej produkowanej z węgla brunatnego w 2018 roku (za: Euracoal 2019)

3. Zarys chemii węgla

3.1. Węgiel jako pierwiastek

Głównym składnikiem węgla w stanie suchym i bezpopiołowym, w tym węgla brunatnego, jest węgiel pierwiastkowy C (łac. *carboneum*). Zajmuje on dwunaste miejsce w składzie skorupy ziemskiej – około 0,09% i czwarte miejsce (jako trwały gaz CO₂) w składzie atmosfery ziemskiej – około 0,04%. Węgiel jest pierwiastkiem niemetalicznym o liczbie atomowej 6 i należy do IV okresu, co oznacza, że ma 6 elektronów, w tym 4 elektrony walencyjne, znajdujące się na ostatniej powłoce atomu (ryc. 5). Węgiel wykazuje też powinowactwo zarówno do pierwiastków ujemnych, jak i dodatnich. Dlatego wiąże on inne atomy (H, O, S, N, Cl, C) prawie tak samo silnie. Ta cecha węgla pierwiastkowego sprawia, że może on tworzyć ogromną (liczoną w milionach) liczbę związków organicznych (np. w paliwach kopalnych: węgle, ropa i gaz ziemny) i nieorganicznych (np. kalcyt, dolomit, magnezyt, syderyt itd.) (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959, Kruszewska, Dybowa-Jachowicz 1997).

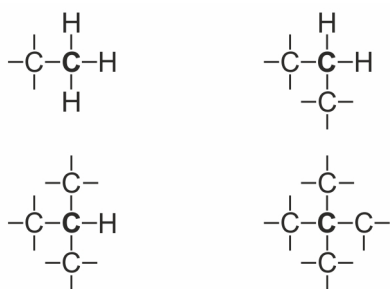
W przyrodzie występują trzy naturalne izotopy węgla: ¹²C, ¹³C i ¹⁴C. Dwa pierwsze są stabilne, natomiast trzeci (¹⁴C) jest promieniotwórczy, a czas jego połowicznego rozpadu wynosi 5,73 tys. lat. Tę jego cechę wykorzystuje się do datowania osadów młodszych niż 50 tys. lat (Lindner 1992), co sprawia, że ¹⁴C jest nieprzydatny w datowaniu węgla brunatnego. Natomiast izotop ¹³C jest używany do rekonstrukcji zmian paleoklimatycznych i paleoekologicznych w czasie rozwoju torfowisk (Craig 1953, Bechtel i in. 2007, 2019, 2020), przekształconych później w pokłady węgla brunatnego, lub do ich korelacji (Krzyszowska, Kokowska-Pawłowska 2016).



Ryc. 5. Budowa najpospolitszego w przyrodzie atomu węgla ¹²C (opracowanie własne)

3.2. Właściwości chemiczne węgla pierwiastkowego

Skład chemiczny węgla, w tym brunatnego, jest zbliżony do składu materiału roślinnego (w nieznacznym stopniu zwierzęcego), z którego powstał. Tak więc kopalny węgiel zawiera głównie węgiel pierwiastkowy, wodór i tlen, podrzędnie azot, siarkę oraz rzadko fosfor i chlor. Procentowy skład pierwiastkowy jest wynikiem oznaczeń analizy elementarnej. W miarę postępu procesu uwęglenia wzrasta zawartość węgla kosztem wodoru i tlenu. Końcowym produktem tego procesu może być czysty węgiel, który w przyrodzie występuje tylko jako diament lub grafit. Niemniej jednak z punktu widzenia geologii złóż węgla najważniejszą cechą chemiczną pierwiastka C jest jego zdolność do tworzenia związków organicznych.



Ryc. 6. Rzędowość atomów węgla (opracowanie własne)

W tym przypadku wykorzystywana jest tzw. rzędowość atomów węgla, które mogą łączyć się z jednym, dwoma, trzema i czterema jego atomami (ryc. 6). Dzięki tej zdolności powstają nawet bardzo długie łańcuchy proste, rozgałęzione lub pierścieniowe, będące podstawowymi składnikami chemicznymi (związkami organicznymi) roślinności torfotwórczej (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959, Fabiańska 2007).

3.3. Właściwości chemiczne substancji roślinnych

Materia organiczna, głównie roślinna, zgromadzona w torfowisku ulega przeobrażeniu zarówno pod wpływem czynników biologicznych (np. bakterie, grzyby itd.), jak i chemicznych (tlen zawarty w powietrzu i w wodzie, produkty rozkładu składników roślin, potencjał redoks i odczyn pH środowiska itp.) (Roga 1958). Substancje roślinne można za van Krevelenem i Schuyerem (1959) podzielić na 3 grupy:

- substancje wchodzące w skład komórek – bogate w białka i cukry;
- substancje wchodzące w skład nasion i substancje zapasowe – bogate w skrobię, tłuszcze i białka;
- substancje, z których zbudowane są ściany komórek – dzielą się na substancje szkieletu ścian komórek (celuloza i jej pochodne) i substancje wypełniające i wiążące szkielet (lignina i polimeryzowane cukry).

3.3.1. Celuloza

Celuloza jest podstawowym składnikiem substancji roślinnej. Jej zawartość w roślinności drzewiastej wynosi 45–50%, a w bawełnie blisko 90%. Pod względem chemicznym celuloza jest węglowodanem, polimerem, który tworzy długi

i nierozgałęziony łańcuch. Jej podstawową jednostką strukturalną (monomerem) jest glukoza. Celuloza jest głównym składnikiem ścian komórek roślinnych. Pokrewna celulozie jest skrobia, mająca częściowo rozgałęziony łańcuch i glukozę jako podstawową jednostkę strukturalną. Skrobia, jako substancja zapasowa roślin, jest magazynowana w liściach, bulwach, łodygach i kłączach (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.2. Lignina

Po celulozie lignina jest drugim podstawowym składnikiem roślin, który w drewnie występuje w ilości sięgającej 20–30%. Lignina jest odpowiedzialna za drewnienie tkanki roślinnej, tzn. cementuje włókna celulozy. Włókna celulozy można obrazowo porównać do prętów żelaznych, a ligninę do betonu, które razem tworzą swoistą strukturę żelbetową (drewno) odporną zarówno na zginanie, jak i na zgniatanie (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.3. Białka

Substancje białkowe (proteinowe) są ważnym składnikiem organizmów roślinnych, a przede wszystkim zwierzęcych. Cechują się one prawie stałym składem pierwiastkowym z przewagą węgla (50–55%), tlenu (19–24%) i azotu (15–18%), a ponadto zawierają wodór (6–8%), siarkę (0,3–3%) i fosfor (0–0,5%). Białka należą do najmniej odpornych substancji roślinnych i dlatego bardzo łatwo ulegają rozkładowi. Warto dodać, że ślady substancji białkowych występują w chlorofilu, który obecny jest w roślinach (głównie w liściach), glonach i bakteriach fotosyntezujących, np. w sinicach. Substratami fotosyntezy są CO_2 i H_2O , produktami – węglowodany i O_2 , a źródłem energii jest światło słoneczne. To właśnie chlorofil nadaje organizmowi fotosyntezującemu (np. liściom) charakterystyczny zielony kolor (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.4. Tłuszcze

Tłuszcze obejmują grupę lipidów, estrów glicerolu i kwasów tłuszczowych. Stanowią one substancje zapasowe, gromadzące energię dzięki stosunkowo dużej (ponad 50%) zawartości węgla pierwiastkowego. Odkładają się głównie w nasionach roślin, a w okresie jesiennym także w pniach drzew, np. sosny, brzozy, lipy itd. Ponadto tłuszcze są lżejsze od wody, choć się w niej nie rozpuszczają. Natomiast bardzo dobrze rozpuszczają się w apolarnych rozpuszczalnikach organicznych, np. w benzynie lub nafcie (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.5. Woski

Woski są bliskie tłuszczom, gdyż są estrami wyższych kwasów tłuszczowych. Poza tym są one nierozpuszczalne w wodzie i łatwo rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych, chociaż są bardziej odporne chemicznie. Pod względem

fizycznym są jednak twardsze od tłuszczów. Woski w ilości około 1% występują przede wszystkim w nabłonkach liści i owoców, a także w pniach niektórych palm. Ważną funkcją wosków jest ochrona liści i owoców przed nadmiernym parowaniem oraz zabezpieczenie przed gniciem (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.6. Żywice

Żywice są mieszaninami nietlonych związków organicznych, głównie terpenoidów (kwasy żywiczne i ich pochodne) oraz związków fenolowych (kwasów fenolowych, fenoli). Można je zaliczyć do końcowych produktów przemian biologicznych roślin, przede wszystkim drzew iglastych. Żywice wydzielane są przez żywe drzewa (poprzez ich zranienie) w procesie tzw. żywicowania. Również ścięte drzewa, ich fragmenty lub igliwie produkują żywice, które należą do grupy substancji roślinnych bardzo odpornych na oddziaływanie mikroorganizmów i czynników chemicznych. Nie rozpuszczają się w wodzie, ale w kwasach organicznych tak. Jako ciekawostkę można podać, że szeroko wykorzystywane w jubilerstwie bursztyny, znajdujące na plażach Bałtyku, w osadach sandrowych Kurpi lub w odkrywkach węgla brunatnego, to kopalne żywice (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.7. Kutyna

Obok wosków kutyna jest składnikiem nabłonków liści, czyli kutykuli. Jest ona polimerem kwasów tłuszczowych, nierozpuszczalnym w rozpuszczalnikach organicznych. Podstawową funkcją kutyny jest ochrona liści roślinności lądowej przed utratą wody i negatywną działalnością mikroorganizmów. Kutyna dodatkowo wzmacnia ściany komórkowe, przez co chroni liście przed fizycznym uszkodzeniem (Roga 1958, van Krevelen, Schuyer 1959).

3.3.8. Inne składniki

Substancja roślinna składa się zarówno ze składników organicznych, jak i nieorganicznych. Inne składniki organiczne, poza wymienionymi wyżej, występują w roślinach w bardzo małych ilościach. Tylko garbniki i kauczuk mogą w niektórych roślinach występować w ilości przekraczającej nawet 10%. Garbniki roślinne (taniny), w sposób naturalny wytwarzane przez rośliny, to grupa organicznych związków chemicznych, będąca pochodną fenoli. Roślinność bogata w garbniki charakterystyczna jest głównie dla strefy międzyzwrotnikowej. W Polsce surowcem względnie bogatym w garbniki jest kora świerkowa i drewno dębowe. Z kolei kauczuk zbudowany jest z długich i splątanych ze sobą cząsteczek polimerów, które nadają mu zdolność do sprężystego odkształcania. Najważniejszymi roślinami kauczukodajnymi są przedstawiciele dwóch rodzajów, tj. kauczukowca (*Hevea*) i figowca (*Ficus*). Na plantacjach tych drzew z 1 ha można uzyskać nawet ponad 1,5 tony kauczuku. Niemniej jednak rola torfotwórcza roślinności bogatej

w garbniki i kauczuk jest znikoma, gdyż po obumarciu łatwo ulegają one rozkładowi (Roga 1958).

Nie wolno zapominać o składnikach nieorganicznych roślin, których występowanie często zależy od składu mineralnego i pH skał podłoża. Przykładowo roślinność stepowa oraz lasy sosnowe i świerkowe preferują gleby kwaśne. Natomiast przeważająca część roślinności liściastej lepiej rozwija się na podłożu obojętnym lub alkalicznym. Bardzo ważna jest też zawartość w wodzie gruntowej wybranych kationów, a głównie: magnezu, wapnia, potasu, fosforu, azotu, siarki, żelaza i innych pierwiastków śladowych. Zależność między składem botanicznym a składem mineralnym podłoża wykorzystywano w minionych wiekach w pracach terenowych do poszukiwania cennych surowców (np. wychodnie warstw zasobnych w określone pierwiastki), a obecnie także w kartografii geologicznej (np. przy wykreślaniu granic litologicznych), co autor tej monografii zna dobrze z własnego doświadczenia. Podsumowując, należy stwierdzić, że substancja mineralna jest odkładana we wszystkich częściach roślin w ilości 0–20%, średnio około 3% wag. Stanowi ona tzw. popiół pierwotny/wewnętrzny, który znajduje się w strukturze materii roślinnej. Natomiast w złożu torfu lub węgla brunatnego występuje jeszcze tzw. popiół wtórny/zewnętrzny (nawet kilkadziesiąt % wag.), który został dostarczony przez wody spływające do torfowiska, wiatr lub powstał na drodze biochemicznej/chemicznej w procesach syn- i postdepozycyjnych (Gruszczuk 1984). Dlatego całkowita zawartość popiołu (pierwotnego i wtórnego) w spalonym torfie lub węglu pozwala wstępnie zakwalifikować wyjściowe torfowisko do jednego z trzech podstawowych typów morfologicznych: niskiego (ponad 5%), przejściowego (3–5%) i wysokiego (poniżej 3%). Na przykład węgle brunatne z polskich złóż zawierają średnio około 10% wag. w stanie roboczym (wilgotnym, przy 50% zawartości H₂O) i około 20% wag. popiołu w stanie suchym (Ciuk 1978, Piwocki 1998, Kasiński, Piwocki 2002, Bielowicz, Kasiński 2014).

4. Pozycja węgla brunatnego w różnych klasyfikacjach

4.1. Węgiel brunatny w szeregu węglowym

Węgiel brunatny jest skałą osadową pochodzenia organicznego, w dominującej części roślinnego – fitogenicznego (gr. *fitón* – roślina, *génésis* – pochodzenie, źródło). Należy on (oprócz torfu, innych węgli, łupków palnych, ropy naftowej i gazu ziemnego) do paliw kopalnych, czyli do kaustobiolitów (gr. *kaustikos* – palny, *biotós* – życie, *lithos* – kamień, skała). Innymi słowy, kopalny węgiel brunatny z punktu widzenia jego użytkowania jest naturalną palną skałą osadową, tj. utworem powstałym wskutek nagromadzenia materiału organicznego roślinnego (po części zwierzęcego), następnie przekształconego w wyniku działania na niego procesów geologicznych w funkcji temperatury, ciśnienia i czasu. Żeby skałę tę nazwać węglem, musi ona zawierać substancję mineralną, oznaczaną jako popiół w stanie suchym, w ilości nie większej niż 50% wag. (ISO 11760:2018). Jej cechą jest palność w stanie umiarkowanej wilgoci, czyli zdolność do samorzutnego łączenia się z tlenem z powietrza. Węgiel brunatny stanowi człon pośredni między torfem a węglem kamiennym w tzw. szeregu węglowym (Gabzdyl 1987, 1994, Kruszewska, Dybowa-Jachowicz 1997, Probierz 2012):

torf → **węgiel brunatny** → węgiel kamienny → antracyt → grafit

Kolejne elementy szeregu węglowego charakteryzują się wzrastającą zawartością pierwiastka C, tj. coraz wyższym stopniem uwęglenia (ang. *coal rank*). W przypadku węgla brunatnego jest to 58–78% wag. C w stanie suchym i bezpopiołowym (Tomków 1981). Tak więc najniższy stopień uwęglenia ma torf, a najwyższy grafit, który zawiera 100% węgla pierwiastkowego. Powstawanie niektórych członów szeregu węglowego rozpoczęło się wraz z pojawieniem się roślin na Ziemi w dewonie, a innych w późniejszym czasie i trwa także współcześnie (Kruszewska, Dybowa-Jachowicz 1997, Thomas 2013).

4.2. Porównanie klasyfikacji międzynarodowych

Wiele systemów klasyfikacyjnych węgla było i jest w użyciu w zależności od kraju i celu praktycznego lub naukowego. Obejmują one następującą systematykę:

geologiczną (wiek węgla), petrograficzną (wygląd, skład macerałowy i mineralny), chemiczną (zawartość węgla pierwiastkowego i części lotnych, ciepło spalania, stosunek C/O i C/H itp.) (Roga 1958).

Polska typologia węgla (PN-ISO 2007), w tym węgla brunatnego, oparta jest na podziale i terminologii niemieckiej. Różne klasyfikacje i nazewnictwo obowiązywały jednak w innych krajach, a zwłaszcza w USA (Kwiecińska, Wagner 1997, Thomas 2013). Dlatego w 1998 roku Europejska Komisja Gospodarcza Narodów Zjednoczonych (ECE-UN) opublikowała, a Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) zatwierdziła nowy system klasyfikacyjny. Można go łatwo porównać z aktualnymi klasyfikacjami niemiecką (DIN) i amerykańską (ASTM) (Libicki, Szczepański 2007). Przemawia za tym fakt, że we wszystkich przypadkach brane są pod uwagę te same lub przeliczone parametry chemiczne i fizykochemiczne węgla, takie jak: wilgotność całkowita, ciepło spalania w stanie bezpopiołowym, zawartość części lotnych w stanie suchym bezpopiołowym i refleksyjność huminitu/witrynitów (tab. 3).

Można pokusić się o stwierdzenie, że klasyfikacja europejska (ECE-UN) nawiązuje do tradycyjnej niemieckiej typologii węgla (DIN), ale użyta jest w niej zmodyfikowana terminologia amerykańska (ASTM). Trzeba jednak zwrócić szczególną uwagę na granice między poszczególnymi typami węgla, które różnią się niestety. Przykładowo granica między węglem brunatnym miękkim i twardym, wyrażona w wartościach ciepła spalania, wynosi: 16,5 MJ/kg (DIN i PN-ISO), 15 MJ/kg (ECE-UN) i 19,3 MJ/kg (ASTM) (tab. 3). Dlatego w celu uniknięcia nieporozumień, a niekiedy błędów, należy jednoznacznie określić, jakiej klasyfikacji używamy. Jest to bardzo istotne dla właściwego zrozumienia światowej literatury oraz podczas pisania tekstów anglojęzycznych na temat węgla.

Tabela 3. Pozycja węgla brunatnego w polskiej i najważniejszych międzynarodowych klasyfikacjach (za: ECE-UN 1998, ASTM 2005, Libicki, Szczepański 2007, zmienione)

Typy węgla i torf				Całkowita zawartość wody W_t^r [%]	Ciepło spalnia Q_{af} [MJ/kg]	Zawartość części lotnych Y_{daf} [%]	Refleksyjność witynitów R_o [%]
USA (ASTM) Q_{af}	Europa (ECE-UN) Q_{af}	Niemcy (DIN)	Polska (PN-ISO)				
peat (torf)	peat (torf)	Torf (torf)	torf	75	6,7		
lignite (~w.b. miękki)	ortho-lignite (~w.b. miękki)	Weichbraunkohle (w.b. miękki)	węgiel brunatny miękki	35	16,5		0,3
	meta-lignite (~w.b. twardy matowy)	Mattbraunkohle (w.b. twardy matowy)	węgiel brunatny twardy matowy	25	19		0,45
sub-bituminous coal (~w.b. twardy błyszczący)	sub-bituminous coal (~w.b. twardy błyszczący)	Glanzbraunkohle (w.b. twardy błyszczący)	węgiel brunatny twardy błyszczący	10	25	45	0,65
bituminous coal (węgiel bitumiczny, węgiel kamienny)	bituminous coal (węgiel bitumiczny, węgiel kamienny)	Steinkohle (węgiel kamienny)	węgiel kamienny				1,9
semi-anthracite (semiantracyt)	anthracite (antracyt)	Antrazit (antracyt)	antracyt	3	36	10	2,2
anthracite (antracyt)							

4.3. Klasyfikacje technologiczne

Starsze klasyfikacje, mające na celu określenie przydatności polskiego węgla brunatnego do jego technologicznego wykorzystania, nie uwzględniają stopnia uwęglania. Aktualnie obowiązująca klasyfikacja, zawarta w normie PN-ISO 11760:2007, nie jest dostosowana do zmieniających się potrzeb przemysłu węglowego. Dotyczy to przede wszystkim przeróbki chemicznej i tzw. technologii alternatywnych, np. zgazowania węgla. Warto jednak wspomnieć, że już wcześniej Kwiecińska i Wagner (1997) zaproponowali, na podstawie cech chemicznych i petrograficznych, projekt typologii miękkiego i twardego matowego węgla brunatnego wraz z kodyfikacją. Wyróżniono sześć możliwych kierunków wykorzystania węgla brunatnego z polskich złóż do: spalania w elektrowniach, brykietowania, wytlewania, ekstrakcji, zgazowania i upłynnienia, czyli uwodornienia (tab. 4).

Tabela 4. Kryteria wyróżniania typów technologicznych polskiego węgla brunatnego (za: Kwiecińska, Wagner 1997)

Typ węgla		Parametry chemiczne					Parametry petrograficzne		
nazwa	kod	Q_i^r [MJ/kg]	S_t^d	A^d	B^d	T^d	I	II	III
				[%]					
węgiel energetyczny	21.1	< 6,7	–	≤ 40	–	–	–	–	–
	21.2	≥ 6,7	–	≤ 40	–	–	–	–	–
węgiel brykietowy	22	≥ 8,4	–	≤ 15	–	–	< 20	< 50	> 30
węgiel wytłewny	23	–	–	≤ 20	–	≥ 12	–	–	–
węgiel ekstrakcyjny	24	–	–	–	≥ 8	–	–	–	–
węgiel do zgazowania	25	≥ 8,4	≤ 1,5	≤ 9,0	–	–	< 20	< 50	> 30
węgiel do upłynnienia	26	–	–	≤ 6,0	–	–	–	–	–

Q_i^r – wartość opałowa w stanie roboczym, S_t^d – zawartość siarki w stanie suchym, A^d – popielność w stanie suchym, B^d – zawartość bituminów w stanie suchym, T^d – wydajność prasmoły wytłewnej w stanie suchym, I – zawartość macerałów niekorzystnych w brykietowaniu bezpiecznym (humokolinit, euulminit, inertynit, minerały), II – zawartość macerałów obojętnych (tekstoulminit, densynit), III – zawartość macerałów pożądanych (tekstynit, atrynit, liptynit)

W ostatnich latach została zaproponowana nowa technologiczna klasyfikacja węgla brunatnego, która oparta jest na badaniach petrograficznych i chemiczno-technologicznych (Bielowicz 2010, 2012). Jest ona nieco zmienioną i rozbudowaną wersją klasyfikacji PN-ISO 11760:2007 i nawiązuje do klasyfikacji Kwiecińskiej i Wagnera (1997, tab. 4). Schemat tej unowocześnionej klasyfikacji jest dwuczęściowy, tj. graficzny i kodowy. W części graficznej, na podstawie średniej refleksyjności ulminitu B, wyróżniono główne odmiany węgla brunatnego: miękki ($0,15\% \leq Ro < 0,35\%$), twardy matowy ($0,35\% \leq Ro < 0,40\%$) i twardy błyszczący ($0,40\% \leq Ro < 0,50\%$). Kolejnym parametrem, który wzięto pod uwagę, jest skład mikropetrograficzny węgla uzyskany poprzez określenie zawartości macerałów z grupy huminitu (witrynit) w stanie bezpopiołowym (patrz rozdz.

i nienormatywny węgiel energetyczny (kod 21.2) itd. Tę nową klasyfikację technologiczną można rozbudowywać, uwzględniając dodatkowe parametry, które pozwalają scharakteryzować przydatność węgla brunatnego w określonym procesie technologicznym (Bielowicz 2012).

4.4. Klasyfikacja makropetrograficzna

Węgiel brunatny, obserwowany makroskopowo w rdzeniach wiertniczych lub w odsłonięciach kopalnianych, nie jest jednorodny, jak się pozornie wydaje. W obrębie każdego pokładu węglowego występują warstwy lub soczewy, które różnią się od otoczenia cechami teksturalnymi i strukturalnymi. Taka warstwa lub soczewa (ponad 5 cm grubości), która powstała w pojedynczym akcie sedimentologicznym, nazywa się litotypem. Jest on główną jednostką litologiczną w makropetrograficznej klasyfikacji węgla brunatnego (ICCP 1993, Kwiecińska, Wagner 1997).

Dotychczas powstało wiele klasyfikacji makropetrograficznych węgla brunatnego, czasem bardzo skomplikowanych. Niektóre starsze propozycje makroskopowego podziału węgla uwzględniały wyłącznie jego cechy teksturalne, ale zawierały kody litotypów (Kwiecińska, Wagner 1997, Kolcon, Sachsenhofer 1999, Ticleanu i in. 1999). Porównywanie tych klasyfikacji nie jest łatwe, gdyż zastosowano w nich różne nazewnictwo (czasem pisownię) i różną kodyfikację litotypów (tab. 5). Jeszcze większe problemy pojawiają się na przykład wtedy, gdy opracowywane są łącznie węgle i osady im towarzyszące, najczęściej klastyczne. W ostatnim przypadku w powszechnym użyciu jest kodyfikacja litofacji (Miall 1977), z późniejszymi jej modyfikacjami. Wspólne stosowanie obu kodyfikacji (litotypowej i litofacjalnej) było też niemożliwe ze względu na fakt, że w niektórych przypadkach zastosowano ten sam kod. Na przykład „D” w kodzie litotypowym odpowiada węglowi detrytowemu, a „D” w kodzie litofacjalnym to *diamicton*, czyli mieszanina wszystkich frakcji. Z kolei „F” w kodzie litotypowym oznacza węgiel fuzynowy (tab. 5), a „F” w kodzie litofacjalnym to *finis*, czyli pył i ił (Miall 1977). Dla uniknięcia tych dwuznaczności oraz wykorzystania możliwości, jakie dają bezpośrednie obserwacje pokładów węgla w odkrywkach kopalnianych, autor tej monografii zaproponował zmiany w kodyfikacji makropetrograficznej (litotypów) węgla brunatnego (Widera 2012, 2016a).

Nowa kodyfikacja litotypów jest wzorowana na kodyfikacji litofacjalnej klastyków (Miall 1977), czyli składa się z członu teksturalnego i strukturalnego. Człon teksturalny (jako ważniejszy) pisany jest wielką literą, do której dodana jest wielka litera „L” (ang. *lignite*). Ten zabieg pozwala odróżnić np. „D” w kodzie litofacjalnym od „D” (DL) w kodzie litotypowym. Drugi człon kodu, tak jak w kodzie litofacjalnym, opisuje strukturę węgla i jest pisany małą literą (tab. 6). Proponowana kodyfikacja makropetrograficzna jest przeznaczona głównie do opisu węgla brunatnego w dużych odsłonięciach, gdzie dobrze widać lateralną (poziomą) rozciągłość warstw węgla, czyli litotypów. Sugerowana terenowa procedura badawcza, dość prosta i niewymagająca dużego doświadczenia, została opisana szczegółowo w publikacji Widery (2016a).

Tabela 5. Porównanie starszych klasyfikacji i kodyfikacji makropetrograficznych węgla brunatnego (opracowanie własne)

ICCP 1993	Kwiecińska, Wagner 1997		Ticleanu i in. 1999		Kolcon, Sachsenhofer 1999	
litotyp (źródłosłów)	litotyp	kod	litotyp (źródłosłów)	kod	litotyp (źródłosłów)	kod
węgiel ksylitowy (xylite-rich coal)	węgiel ksylitowy	WK	węgiel ksylitowy (xylitic coal)	XC	węgiel ksylitowy (xylitic coal)	X
węgiel detrytowy (matrix coal)	węgiel detrytowy	WD	węgiel detrytowy (detrital coal)	DC	węgiel detrytowy (detritic coal)	D
–	węgiel detroksylitowy	WDK	–	–	węgiel detroksylitowy (detro-xylitic coal)	D-X
–	węgiel ksylo-detrytowy	WKD	węgiel słaboksylitowy (weak xylitic coal)	WXC	węgiel ksylodetrytowy (xylo-detritic coal)	X-D
węgiel fuzynowy (charcoal-rich coal)	węgiel fuzynowy	WF	węgiel fuzynowy (charcoal)	CH	węgiel fuzynowy (fusitic coal)	F
węgiel zasobny w substancję mineralną (mineral-rich coal)	–	–	węgiel ilasty (clayey coal)	CC	–	–
	–	–	ił węglisty (coaly clay)	AC	–	–

Tabela 6. Nowa kodyfikacja litotypów węgla brunatnego (za: Widera 2012, 2016a)

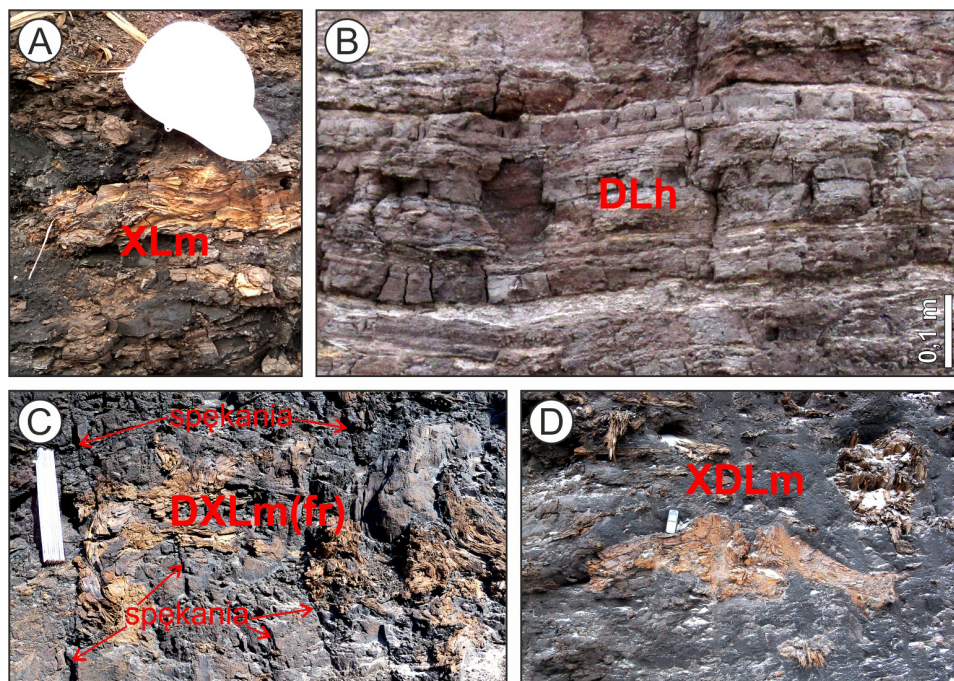
Tekstura litotypu	Kod	Źródłosłów
węgiel ksylitowy	XL	xylitic lignite
węgiel detrytowy	DL	detritic lignite
węgiel detroksylitowy	DXL	detroxylitic lignite
węgiel ksylodetrytowy	XDL	xylodetritic lignite
węgiel bitumiczny	BL	bitumen-rich (bituminiferous*) lignite
węgiel fuzynowy	FL	fusitic lignite
węgiel wietrzeniowy	WL	weathered lignite
Struktura litotypu	Kod	Źródłosłów
masywna	m	massive
horyzontalna	h	horizontally stratified
zdeformowana (spękana, zafałdowana, zuskokowana)	d (fr, fo, fa)	deformed (fractured, folded, faulted)
żelifikowana	g	gelified
soczewkowa, oczkowa	n	nodular

* – według Wagnera (1996)

4.4.1. Węgiel ksylicowy

Zgodnie z „regułą 10%”, rekomendowaną przez ICCP (1993), węgiel ksylicowy (gr. *ksylos* – drewno, *lithos* – kamień, skała) w co najmniej 90% obj. (100% – 10% = 90%) składa się z ksyliców (ryc. 9A). Są to uwęglane fragmenty roślinności drzewiastej i krzewiastej o wielkości ponad 1 cm. Pozostałe 10% obj. mogą stanowić inne litotypy lub przewarstwienia mineralne.

Węgiel ksylicowy powstał z drzew (oprócz liści) i krzewów (ich zdrewniałych części), które porastały torfowisko lub zostały przetransportowane przez wodę spływającą na jego obszar. Należy jednak zauważyć, że pojedynczy ksylic (korzeń, karcz, pień, gałąź, szyszka) nie jest litotypem węgla brunatnego (Kwiecińska, Wagner 1997). Węgiel ksylicowy najczęściej ma strukturę masywną (ryc. 8A), rzadziej horyzontalną, nodularną i żelifikowaną (tab. 6).



Ryc. 8. Przykłady głównych makropetrograficznych odmian (litotypów) węgla brunatnego z polskich złóż (fot. M. Widera)

A – węgiel ksylicowy (Pątnów III, KWB Konin); B – węgiel detrytowy (Chłapowo, wybrzeże Bałtyku); C – węgiel detroksylicowy (złóże „Tomisławice”, KWB Konin); D – węgiel ksylicodetrytowy (złóże „Kozmin” Północ, KWB Adamów)

4.4.2. Węgiel detrytowy

Węgiel detrytowy (gr. *dettero* – rozdrobniony) to taki, który w 90% obj. lub więcej składa się z detrytusów roślinnego poniżej 1 cm wielkości. Resztę (mniej niż

10% obj.) mogą stanowić ksylicy, inne litotypy, także przewarstwienia mineralne. Litotyp ten cechuje się różnymi strukturami, ale na ogół jest on masywny lub warstwowany horyzontalnie (ryc. 8B).

Materiałem wyjściowym dla węgla detrytowego jest przede wszystkim roślinność nieдрzewna, tj. mszarna (mchy) i zielna (wrzosa, trawy, roślinność szuwarowa: turzyce, trzciny, pałki wodne itp. oraz roślinność pływająca). Detrytus roślinny (siecinka węglowa) powstaje także z liści i igieł roślinności drzewiastej i krzewiastej. W wyższej uwęglonych węglach brunatnych część ksyliców (tzw. rozsypliwych, powstałych głównie z drzew liściastych) może być trudna do identyfikacji w terenie i zaliczona jest do detrytusu roślinnego.

4.4.3. Węgiel detroksylitowy

Interesujące, a dla wielu czytelników na pewno zaskakujące, jest wyróżnianie tzw. litotypów złożonych, tj. składających się przynajmniej z dwóch głównych składników litologicznych. Pierwszy przypadek to węgiel detroksylitowy, który składa się w 90% obj. lub więcej („reguła 10%”) z ksyliców i detrytusu roślinnego. Niemniej jednak ksyliców musi być więcej niż detrytusu (ryc. 8C).

Ta pozorna niekonsekwencja ma uzasadnienie historyczne i językowe, tak jak np. w przypadku terminu „fluwioglacjalny” – człon „glacjalny” jako bardziej ogólny jest ważniejszy i znajduje się na drugim miejscu. Węgiel detroksylitowy powstaje w przewodzie z roślinności drzewiasto-krzewiastej, a w mniejszym stopniu z mszysto-zielnej. Pod względem strukturalnym może się charakteryzować wszystkimi wyróżnionymi dla węgla brunatnych strukturami (tab. 6).

4.4.4. Węgiel ksyloedetrytowy

W drugim przypadku litotypu złożonego jest odwrotnie, niż to miało miejsce w przypadku węgla detroksylitowego. Tak więc węgiel ksyloedetrytowy zbudowany jest w 90% obj. lub więcej z detrytusu roślinnego i ksyliców, ale zawartość objętościowa (liniowa w odsłonięciu lub rdzeniu wiertniczym) detrytusu przeważa nad ksylicami (ryc. 8D).

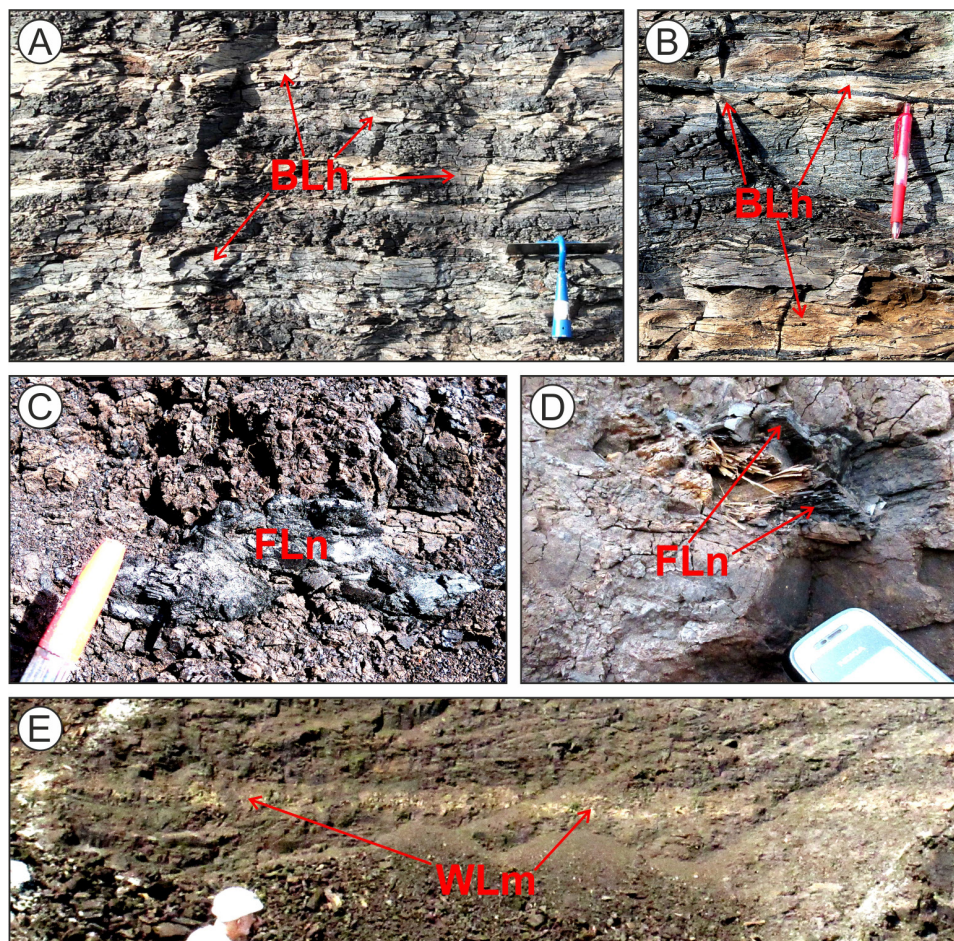
Omawiany litotyp węgla brunatnego w większym stopniu pochodzi z przekształcenia roślinności mszysto-zielnej niż drzewiasto-krzewiastej. Tak jak w przypadku węgla detroksylitowego również dla węgla ksyloedetrytowego typowe są wszystkie znane struktury (tab. 6).

4.4.5. Węgiel bitumiczny

Ten litotyp należy do węgla sapropelowych. Wyróżnia się wśród nich węgiel bitumiczny właściwy i węgiel półbitumiczny (Wagner 1996). W makroskali (obserwowany z dystansu co najmniej kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) węgiel bitumiczny tworzy warstwy o miąższości do 0,4–0,5 m, rozciągłości do kilkuset metrów, pokroju tafłowym i charakterystycznej brunatno-żółtej barwie (Widera 2016a). Natomiast w mezoskali (obserwowany z dystansu od kilku decymetrów

do kilku metrów) jest on bardziej zróżnicowany strukturalnie. Najczęściej węgiel bitumiczny tworzy warstwy o zmiennej grubości i długości lub soczewy, podzielone innymi litotypami, np. ze śladami żelifikacji (ryc. 9A, B).

Głównymi składnikami węgla bitumicznego są glony, a podrzędnie pierwotniaki i ilaste cząstki mineralne. Tworzy się on na dnie zbiornika wodnego (jeziora) między strefą roślinności przybrzeżnej (szuwarowej i wodnej – węgiel detrytowy) a strefą głębszą, gdzie depozycja mineralna przeważa nad organiczną. Dlatego węgiel bitumiczny przechodzi stopniowo (facjalnie, sedimentacyjnie) z jednej strony w inne litotypy węgla brunatnego, a z drugiej strony w ropy jeziorne. W jego obrębie często występują też ksylyty, pochodzące od roślinności



Ryc. 9. Przykłady mniej powszechnych makropetrograficznych odmian (litotypów) węgla brunatnego z polskich złóż (fot. M. Widera)

A, B – węgiel bitumiczny o strukturze horyzontalnej (złóżo „Turów”, KWB Turów); C – węgiel fuzynowy o strukturze oczkowej (złóżo „Sieniawa”, KWB Sieniawa); D – węgiel fuzynowy o strukturze oczkowej (złóżo „Drzewce”, KWB Konin); E – węgiel wietrzeniowy masywny (złóżo „Adamów”, KWB Adamów)

krzewiasto-drzewiastej porastającej brzegi jeziora. Ksylity te mogą być silnie wysycone materiałem bitumicznym (rezynitem), który nadaje im żółtą barwę (Wagner 1996, Kwiecińska, Wagner 1997).

4.4.6. Węgiel fuzynowy

Węgiel fuzynowy to kopalny węgiel drzewny powstały ze zwęglenia roślinności torfowiskowej w wyniku jej częściowego spalania. Ze względu na niewielką grubość i rozprzestrzenienie w postaci nieciągłych warstw lub soczew najczęściej jest on składnikiem innych litotypów. Węgiel fuzynowy może składać się z prawie całkowicie zwęglonej roślinności nieдрzewnej (ryc. 9C) po częściowo tylko spalone zewnętrzne warstwy drzew (najczęściej gałęzi lub pni), w których wewnętrzna budowa drewna jest dobrze widoczna (ryc. 9D).

W profilu pionowym eksploatowanych w Polsce pokładów węgla brunatnego można stwierdzić kilka, a nawet kilkanaście poziomów węgla fuzynowego. Za główne przyczyny pożarów na torfowiskach uznaje się zarówno czynniki egzogeniczne, zewnętrzne (wyładowania atmosferyczne, wybuchy wulkanów), jak i endogeniczne, wewnętrzne (działalność niektórych bakterii, absorpcja tlenu przez wybrane składniki przesuszonego torfu – samozapłon) (Kwiecińska, Wagner 1997, 2001, Bielowicz 2020).

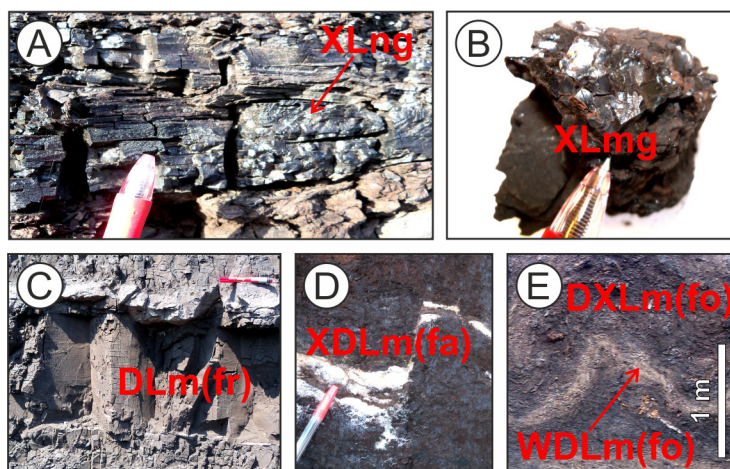
4.4.7. Węgiel wietrzeniowy

We wcześniejszych pracach odmiany wietrzeniowe łączono raczej z litotypem węgla ksylicowego. Dotyczyło to przede wszystkim destrukcji, zwietrzenia drewna na etapie obumarcia drzew w czasie ich wzrostu lub powalenia na powierzchni torfowiska (Brzyski 1984). Jako odrębny litotyp węgiel wietrzeniowy został wyróżniony w ostatnich latach (Widera 2016a).

Cechuje się on miąższością do kilku decymetrów i rozciągłością poziomą od kilkudziesięciu do kilkuset metrów oraz charakterystyczną bladożółtą barwą, która wyraźnie kontrastuje z otaczającymi litotypami (ryc. 9E, 10E). Pokrój warstwy węgla wietrzeniowego najczęściej jest tafłowy, tzn. powierzchnie spągowa i stropowa są do siebie równoległe. Obecność tego litotypu dowodzi istnienia w czasie rozwoju torfowiska tzw. „fazy suchej”, kiedy poziom wód gruntowych uległ obniżeniu. Skutkowało to wystawieniem wierzchnich warstw torfu na działanie czynników zewnętrznych, takich jak: utlenianie, grzyby, bakterie itd.

4.4.8. Zastosowanie badań makropetrograficznych

Badania makropetrograficzne są przydatne zarówno ze względów praktycznych, jak i poznawczych. Na podstawie obserwacji makroskopowych można określić występowanie przerostów mineralnych w pokładzie węgla brunatnego, jego ułożenie (poziome, nachylone, nieregularne) i deformacje (spękania, fałdy, uskoki). Wymienione cechy węgla decydują o możliwości jego eksploatacji (czasem ją



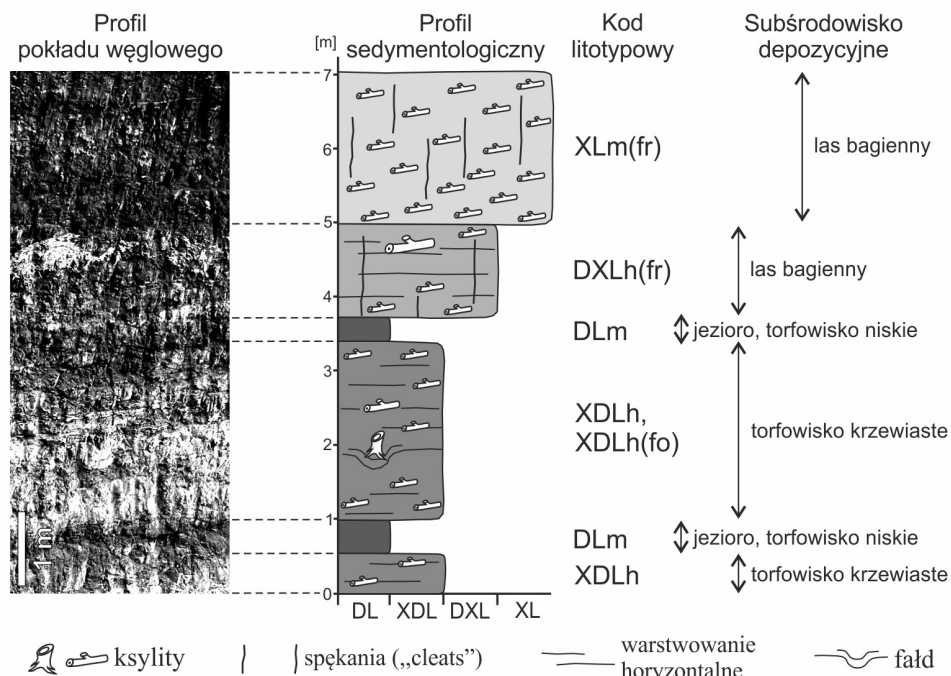
Ryc. 10. Przykłady litotypów węgla brunatnego charakteryzujących się interesującymi strukturami (fot. M. Widera)

A – węgiel ksylitowy o strukturze czkowkiej, zżelifikowanej (złoże „Turów”, KWB Turów); B – fragment ksylitu o zżelifikowanej powierzchni (złoże „Bełchatów”, KWB Bełchatów); C – węgiel detrytowy o strukturze masywnej, spękanej (złoże „Pątnów IV”, KWB Konin); D – węgiel ksylo-detrytowy masywny i zuskokowany (złoże „Sieniawa”, KWB Sieniawa); E – węgiel detroksylitowy wietrzniowy masywny i zafałdowany (złoże „Drzewce”, KWB Konin)

wykluczają) lub powodują zastosowanie odpowiedniej technologii górniczej, np. selektywnego wydobycia.

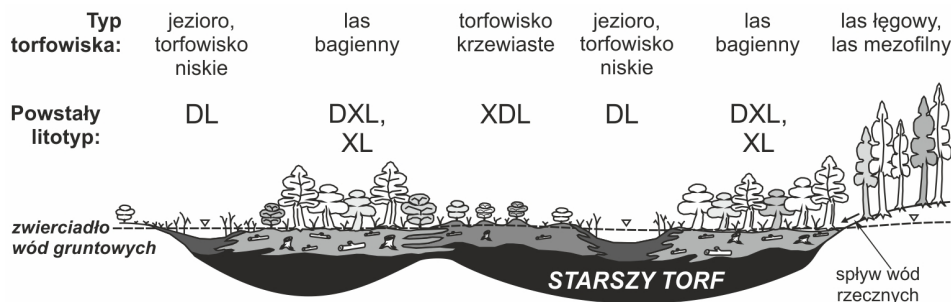
Z drugiej strony, główne grupy litotypów (XL, DXL, XDL, DL) są wyznaczone przede wszystkim na podstawie objętościowej zawartości ksylitów w pokładzie – „reguła 10%”. Ich występowanie w węglu ma niekorzystny wpływ na proces jego urabiania oraz utylizacji. W czasie eksploatacji węgla ksylity (zwłaszcza włókniste) wkręcają się w łańcuchy koparek, co powoduje przestoje w pracy tych maszyn. Również w procesach wykorzystania węgla ksylity są elementem niepożądanym. Po pierwsze, mają one mniejszą wartość opałową (są słabiej uwęglone) niż detrytus roślinny. Po drugie, należy ksylity odsiać lub rozdrobnić (zmielić) przed spalaniem, gdyż do pieca elektrowni węgiel brunatny jest podawany w formie pyłu węglowego. Podobnie niekorzystnie sytuacja wygląda w przypadku brykietowania lub zgazowania węgla brunatnego zawierającego ksylity (Kwiecińska, Wagner 1997, Bielowicz 2016a).

Pokład węgla brunatnego można podzielić na litotypy, a następnie przedstawić to w formie graficznej (ryc. 11). Z kolei litotypy, opisane za pomocą kodu litotypowego (tab. 6), można przypisać do odpowiedniego subsródowniska sedymentacyjnego, tj. typu torfowiska. Zależność tę pierwsza zauważyła M. Teichmüller (1958), która na podstawie obserwacji współczesnych torfowisk na południowym wschodzie USA stworzyła model depozycyjny dla torfowisk miocenkich. Jej pionierskie prace, po nieznacznym zaktualizowaniu, mogą być stosowane w przypadku polskich złóż węgla brunatnego.



Ryc. 11. Przykład graficznej prezentacji, opisu i interpretacji genetycznej litotypów w pokładzie węglowym ze złoża „Pątnów III”, KWB Konin (za: Widera 2012)
Objaśnienia kodu litotypowego w tab. 6

Podstawowym grupom litotypów można przyporządkować określony typ torfowiska: jezioro i torfowisko niskie, torfowisko krzewiaste i las bagienny (ryc. 12). Przykładowo węgiel detrytowy (DL) powstał głównie z roślinności niefalejowej porastającej strefę przybrzeżną jezior (roślinność wodna i szuwarowa) znajdującej się na powierzchni lub w sąsiedztwie torfowiska. Z kolei dla węgla detroksylitowego i ksylo-detrytowego (DXL, DXL) za wyjściowe subsrodowisko



Ryc. 12. Typy torfowisk i powstałe z nich litotypy węgla brunatnego (za: Teichmüller 1958, 1989, zmienione)
Objaśnienia kodu litotypowego w tab. 6

torfotwórcze uważa się torfowisko krzewiaste. Natomiast węgiel ksylicowy (XL) w dominującej masie powstał w środowisku lasu bagiennego. Pod uwagę trzeba brać także lasy (łąkowe i mezofilne) otaczające torfowisko, które same nie tworzą torfu, ale ich niewielkie ilości mogą być (np. w postaci spływu powierzchniowego, z wiatrem) przetransportowane na obszar torfowiska (ryc. 12). Podsumowując, makropetrograficzne rozpoznanie pokładu węglowego pozwala tylko na wstępną rekonstrukcję typu torfowiska, w jakim poszczególne litotypy powstały. Należy jednak pamiętać, że bardziej szczegółowych informacji na temat przebiegu procesów uwęglenia i wyjściowego składu roślinnego mogą dostarczyć inne badania: mikropetrograficzne, geochemiczne i palinologiczne.

4.5. Mikropetrograficzne składniki węgla

Podstawowym składnikiem mikropetrograficznym węgla (widocznym przy użyciu mikroskopu) są macerały. Ich ranga w węglu jest w przybliżeniu taka, jak minerałów w innych skałach. Macerały wyróżnia się na podstawie cech morfologicznych o podobnych właściwościach optycznych. Są one pozostałościami uwęglonych (powstałych w procesie przejścia torfu w węgiel) lub zwęglonych (w wyniku spalania) fragmentów tkanek roślinnych, sporadycznie także zwierzęcych (Kwiecińska, Wagner 1997, 2001).

W Polsce stosowany jest podział macerałów zatwierdzony przez ICCP (1975). Wyróżnia się w nim: grupy, podgrupy, macerały, submacerały i odmiany

Tabela 7. Klasyfikacja macerałów węgla brunatnego (za: Kwiecińska, Wagner 2001)

Grupa	Podgrupa	Macerał	Submacerał	Odmiana
huminit	humotelinit	tekstynit	–	–
		ulminit	tekstoulminit euulminit	A, B
	humodetrynit	atrynit	–	–
		densynit		
	humokolinit	żelinit	leviżelinit poriżelinit	detrożelinit telożelinit eużelinit
		korpohuminit	flobafinit pseudoflobafinit	–
liptynit	–	sporynit kutynit rezynit fluorynit suberynit alginit chlorofynit bituminit liptodetrynit	–	

		fuzynit	pirofuzynit degradofuzynit
inertynit	–	semifuzynit funginit sekretynit makrynit intertodetrynit	–

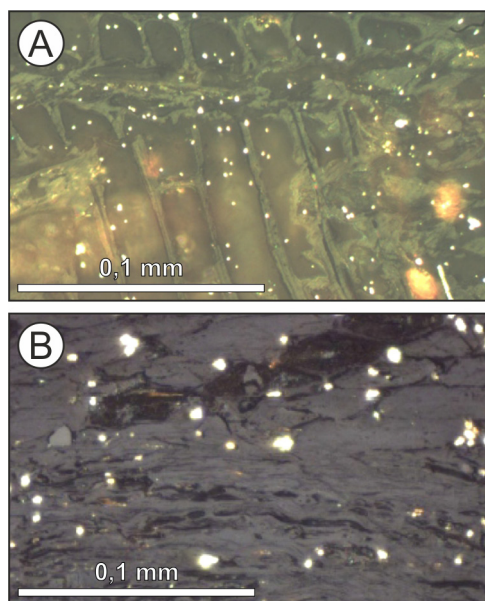
macerałów (tab. 7). Identyfikacja macerałów, a wśród nich submacerałów i ich odmian wymaga doświadczenia i dużych kwalifikacji. Dlatego, biorąc pod uwagę niezbyt wyspecjalizowane kwalifikacje potencjalnego czytelnika, omówiono krótko tylko trzy główne grupy macerałów węgla brunatnego, tj.: huminitu, liptynit i intertynit. Skład mikropetrograficzny (zawartość macerałów) przedstawiono na przykładzie węgla brunatnego eksploatowanego w odkrywcze Szczerców (tab. 8, Bielowicz, Morga 2021).

Tabela 8. Skład mikropetrograficzny węgla brunatnego ze złoża „Szczerców”, KWB Belchatów (za: Bielowicz, Morga 2021)

Grupa	Macerał	Zawartość [%]
huminit	tekstynit	11,7
	ulminit	12,1
	atrynit	29,9
	densynit	23,9
	korpohuminit	1,6
	żelinit	1,5
liptynit	sporynit	0,6
	kutynit	0,1
	rezynit	1,1
	suberynit	0,2
	alginit	0,1
	liptodetrynit	3,6
inertynit	fuzynit	1,0
	semifuzynit	0,2
	funginit	0,1
	intertodetrynit	1,8
minerały	piryt	0,8
	węglany	0,5
	kwarc +	9,2
	minerały ilaste	

4.5.1. Grupa huminitu

Macerały z grupy huminitu powstały z pozostałości tkanki roślinnej (głównie celulozy i ligniny), która została w różnym stopniu rozłożona w procesach humifikacji i żelifikacji. Dlatego budowa tkankowa może być dobrze lub słabo widoczna, jeśli żelifikacja jest bardziej zaawansowana (ryc. 13). W węglu brunatnym celuloza i lignina stopniowo zanikają, a powstające z nich kwasy humusowe ulegają kondensacji i przemianom w nierozpuszczalne w alkaliach huminy. W procesie żelifikacji, na etapie przemian biochemicznych, struktura komórkowa roślinności staje się coraz mniej widoczna, a stosunki atomowe H/C i O/C zmniejszają się. Wzrasta natomiast zawartość węglowodorów aromatycznych i grup karboksylowych. Skład pierwiastkowy (elementarny) huminitu jest następujący: węgiel – 60–71%, tlen – 18–28% i wodór – 4–6% (Kwiecińska, Wagner 2001).



Ryc. 13. Mikrofotografie przykładowych macerałów węgla brunatnego (fot. A. Bechtel)

A – tekstynit, fragment kopalnego węgla z odkrywki Lubstów (złoże „Lubstów”, KWB Konin) bez śladów żelifikacji, światło przechodzące (za: Bechtel i in. 2007); B – tekstoulminit/ulminit fragment kopalnego węgla z odkrywki Józwin IIB (złoże „Pątnów IV”, KWB Konin) ze śladami silnej żelifikacji, naświetlanie światłem niebieskim (za: Bechtel i in. 2020)

wstaje w wyniku pożaru torfu (pirofuzynit) lub przesuszenia, zwiędnięcia torfu (degradofuzynit). Z kolei funginit, jak nazwa wskazuje, pochodzi z grzybów, ich zarodników i sklerocji, tj. bulwowych grzybni (Kwiecińska, Wagner 2001).

4.5.4. Zastosowanie badań mikropetrograficznych

Określenie składu mikropetrograficznego węgla ma duże znaczenie przy wyznaczaniu kierunku jego użytkowania. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że węgiel to mieszanina uwęglonej substancji organicznej (reprezentowanej przez macerały) i substancji mineralnej. Przykładowo ważną rolę w procesie zgazowania odgrywa skład mikropetrograficzny węgla, ponieważ różne macerały charakteryzują się różną reaktywnością. Najwyższą reaktywnością cechują się macerały grupy huminitu/witrynit, a następnie liptynit. Natomiast najmniej reaktywne są macerały z grupy inertynitu. Dlatego ich zgazowanie rozpoczyna się w wyższych temperaturach, przez co wydłuża się czas tego procesu (Bielowicz 2012).

4.5.2. Grupa liptynit

W odróżnieniu od macerałów grupy huminitu do grupy liptynit należą tzw. macerały protobitumiczne, które nie podlegają humifikacji i żelifikacji. Macerały tej grupy powstały z substancji roślinnych, które są bardzo odporne na utlenianie, takich jak: żywice, woski, spory, pyłki, nabłonki liści, fitoplankton (np. glony, sinice), zooplankton (np. pierwotniaki, skorupiaki, larwy owadów) itp. Cechują się one najsilniejszą fluorescencją (żółta, pomarańczowa, czerwona) i najniższą refleksyjnością w porównaniu do pozostałych dwóch grup. Macerały liptynit mają najczęściej kształt nitkowaty, owalny, a nawet kulisty (Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997).

4.5.3. Grupa inertynitu

Do tej grupy zaliczamy macerały o refleksyjności od średniej do wysokiej, czyli wyższej niż macerały z grupy huminitu. Do przedstawicieli grupy inertynitu należą m.in. fuzynit i funginit. Pierwszy z tych macerałów powstaje

5. Geneza węgla brunatnego

5.1. Roślinność torfotwórcza i nietorfotwórcza

Roślinność, z której powstały torfowiska (głównie miocenijskie w przypadku polskich złóż), różni się zarówno od karbońskiej (głównie polskie złoża węgla kamiennego), jak i od roślinności, która występuje na współczesnych torfowiskach. Dlatego w tej pracy ograniczono się do omówienia najważniejszych zbiorowisk roślinnych, typowych dla torfowisk miocenijskich na Niżu Europejskim. Ponadto podano kilku najważniejszych przedstawicieli roślinności nietorfotwórczej (pochodzącej spoza torfowiska), której makro- i mikroszczałki są prawie zawsze obecne w pokładach węgla brunatnego (tab. 9).

5.1.1. Roślinność wodna i szuwarowa

Zbiorniki wodne (jeziora) występowały na powierzchni miocenijskich torfowisk, ale większość jezior była zlokalizowana na równi zalewowej rzek przepływających obok nich. Podobnie jak obecnie jeziora obfitowały w plankton roślinny i zwierzęcy, glony oraz rośliny kwiatowe zarówno pływające, jak i zakorzenione. Wśród roślin wodnych najważniejsze były: grąźel, grzybień, rdestnica, kotewka, wywłócznik, rogatek, osoka i płoczniec (tab. 9). W warunkach beztlenowych, przy udziale głównie bakterii anaerobowych, dochodziło do rozkładu celulozy zawartej w ścianach komórkowych roślin wodnych, w efekcie czego mogła powstać gytia humusowa (Brzyski 1984, Tobolski 2000). Natomiast w głębszej części jeziora, gdzie dominowały glony, powstawał sapropel lub torf sapropelowy, który w wyniku procesu uwęglenia mógł przekształcić się w bitumiczny węgiel brunatny (Wagner 1996).

Zbiorowisko roślinności szuwarowej porastało przybrzeżną strefę jezior, ze zdecydowaną przewagą roślinności zielnej zakorzenionej w dnie zbiornika, ale łądogami wystającymi nad powierzchnię wody (ryc. 14A). Wymienić tutaj należy takie rośliny, jak: trzcina, turzyca, kłoc, pałka, sitowie i oczeret (tab. 9), które są najlepszym materiałem wyjściowym dla detrytowego węgla brunatnego (porównaj ryc. 12 i 14A).

Tabela 9. Zestawienie najważniejszych przedstawicieli mioceńskiej roślinności torfotwórczej i nietorfotwórczej, porastającej otoczenie torfowiska (opracowanie własne)

Zbiorowisko roślinne	Nazwa polska	Nazwa łacińska	Zbiorowisko roślinne	Nazwa polska	Nazwa łacińska
roślinność wodna i szuwarowa	grąźel	<i>Nuphar</i>	roślinność torfowiska krzewiastego	zwichrotowate	Cyrillaceae
	grzybień	<i>Nymphaea</i>		orszelinowate	Clethraceae
	rdestnica	<i>Potamogeton</i>		woskownica	<i>Myrica</i>
	kotewka	<i>Trapa</i>		wrzosowate	Ericaceae
	wywłócznik	<i>Myriophyllum</i>		guzikowiec	<i>Cephalanthus</i>
	rogatek	<i>Ceratophyllum</i>		wiązowiec	<i>Celtis</i>
	osoka	<i>Stratiotes</i>		ostrokrzew	<i>Ilex</i>
	płoczniec	<i>Brasenia</i>		sumak	<i>Rhus</i>
	trzcina	<i>Phragmites</i>		winorośl	<i>Vitis</i>
	turzyca	<i>Carex</i>		roślinność nietorfotwórcza (lasu łąkowego i mezofilnego)	sekwoja
	kłoc	<i>Cladium</i>	klon		<i>Acer</i>
	pałka	<i>Typha</i>	orzesznik		<i>Carya</i>
	sitowie	<i>Scirpus</i>	wiąz		<i>Ulmus</i>
	oczeret	<i>Schoenoplectus</i>	wierzba		<i>Salix</i>
	jeżogłówka	<i>Sparganium</i>	ambrowiec		<i>Liquidambar</i>
	łączeń	<i>Butomus</i>	skrzydłorzecz		<i>Pterocarya</i>
	paprocie wodne: salwinia – <i>Salvinia</i> , azolla – <i>Azolla</i>		jesion		<i>Fraxinus</i>
	plankton roślinny		szydlica		<i>Cryptomeria</i>
	roślinność lasu bagiennego	cypryśnik	<i>Taxodium</i>		cyprys
		wyżłob	<i>Glyptostrobus</i>	chmielogrąb	<i>Ostrya</i>
cyprysik		<i>Chamaecyparis</i>	choina	<i>Tsuga</i>	
blotnia, kłęża		<i>Nyssa</i>	palmy	Arecaceae	
olcha		<i>Alnus</i>	sosna	<i>Pinus</i>	
skrzyp		<i>Equisetum</i>	buk	<i>Fagus</i>	
torfowiec		<i>Sphagnum</i>	dąb	<i>Quercus</i>	
paprotkowate		Polypodiaceae	grab	<i>Carpinus</i>	
długosz		<i>Osmunda</i>	brzoza	<i>Betula</i>	

5.1.2. Roślinność lasu bagiennego

Las bagienny obejmuje siedliska podmokłe, gdzie podłoże jest stale lub przez większą część roku zalane wodą. W składzie tego zbiorowiska wśród drzew iglastych dominowały cypryśniki i wyżłoby, a wśród drzew liściastych blotnia, olcha i inne bagienne drzewa i krzewy (tab. 9). Charakterystyczna dla tych drzew była obecność bardzo poszerzonych nasad pni i korzeni podporowych. Ponadto najbardziej znanym przedstawicielem mioceńskiego lasu bagiennego był cypryśnik blotny ze świetnie rozwiniętym systemem korzeni oddechowych (tzw. pneumatoforów)



Ryc. 14. Współczesne odpowiedniki mioceńskich torfowisk na Niżu Polskim (fot. L. Chomiak)

A – sukcesja roślinności wodnej i szuwarowej po krzewiasto-drzewiastą w tle (torfowiska Everglades koło Miami, Floryda, południowy wschód USA); B – roślinność lasu bagiennego z palmami w poszyciu oraz cypryśnikami z korzeniami oddechowymi (pneumatoforami) wystającymi nad powierzchnię wody (torfowiska Bayou Sauvage koło Nowego Orleanu, Luizjana, południe USA)

wystających nad powierzchnię wody lub silnie nawodnionego gruntu. W stanie naturalnym występuje on w południowo-wschodniej Ameryce Północnej, tj. w południowych i południowo-wschodnich USA (ryc. 14B). Jako ciekawostkę można dodać, że cypryśnik błotny stanowi unikatowy element parków w innych częściach świata, także w Polsce jako element aklimatyzowany (ryc. 15).

5.1.3. Roślinność torfowiska krzewiastego

Torfowisko krzewiaste zajmowało siedliska położone nieznacznie powyżej poziomu wód gruntowych. Takie warunki środowiskowe nie sprzyjały ekspansji drzew typowych dla lasu bagiennego, lęgowego i mezofilnego. Dlatego, oprócz roślinności zielnej, omawiane zbiorowisko było zdominowane przez krzewy i niewysokie drzewa. Najbardziej typowymi przedstawicielami były: zwichrotowate, orszelinowate, woskownica, wrzosowate itd. (tab. 9).

5.1.4. Roślinność nietorfotwórca



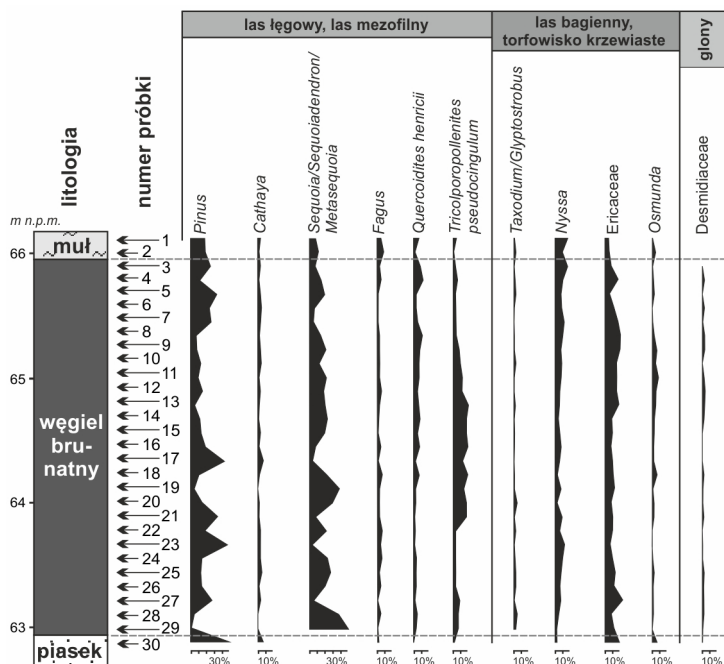
Ryc. 15. Cypryśnik błotny (*Taxodium distichum*), główny składnik miocieńskich lasów bagiennych na Niżu Polskim (fot. M. Widera). Okaz z arboretum w Kórniku koło Poznania z widocznymi pneumatoforami wystającymi z podmokłego podłoża

Obejmuje ona zbiorowisko roślinne charakterystyczne dla lasu łągowego, którego najbardziej znanym przedstawicielem jest sekwoja. Warto też wspomnieć o innych przedstawicielach lasu łągowego (np. orzesznik, wiąz, jesion, wierzba, ambrowiec, skrzydłorzech, klon), rosnących wzdłuż cieków wodnych (tab. 9). W pewnych warunkach środowiskowych (równiny zalewowe rzek) można traktować las łągowy jako zbiorowisko roślinne przejściowe między rzeką a roślinnością lasu mezofilnego. Jeszcze mniejszą rolę torfotwórczą odgrywało zbiorowisko roślinne mieszanego lasu mezofilnego (Kasiński, Słodkowska 2016). Miocieńskie lasy mezofilne miały bardzo bogaty skład gatunkowy, z wieloma elementami ciepłolubnymi. Przedstawicielami lasu mezofilnego są m.in.: dąb, buk i inni przedstawiciele rodziny bukowatych (np. kasztan), klon, grab i brzoza. Towarzyszyły im też inne drzewa: szydlica, cyprys, chmielgrab, choina i palmy (tab. 9).

Wymienieni reprezentanci roślinności nietorfotwórczej są prawie zawsze identyfikowani w składzie sporowo-pyłkowym próbek węgla. Oprócz tego ich makroszczątki (korzenie, pnie, gałęzie, szyszki, niekiedy liście i nasiona itd.) są dość często znajdowane w pokładach węgla brunatnego. Wskazuje to na transport makroszczątków roślin wraz z wodami rzeczными, szczególnie w czasie wezbrań. Są to szczątki roślinności allochtonicznej (Florjan, Worobiec 2016). Jednak większość szczątków roślinności nietorfotwórczej lasu łągowego i mezofilnego uległa całkowitemu rozkładowi poza torfowiskiem (w miejscu ich wzrostu) pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak: powietrze, bakterie, grzyby, enzymy i inne (Brzyski 1984).

5.1.5. Odtworzenie składu roślinności torfotwórczej

Powszechnie stosowaną metodą badań roślinności, z której powstał węgiel brunatny, czyli osad kopalnego torfowiska, jest palinologia (gr. *palynein* – sypać, przyprószyć, *logos* – nauka). Pozwala ona na jakościowe i ilościowe badania zawartych w węglu brunatnym spor (zarodników) i ziaren pyłku (Dybova-Jachowicz, Sadowska 2003). W ten sposób można odtworzyć przede wszystkim skład zbiorowisk roślinnych oraz historię roślinności na danym obszarze, a na tej podstawie określić zmiany klimatyczne zachodzące w określonym czasie geologicznym, np. podczas powstawania pokładu węgla brunatnego. Warto dodać, że niektóre rośliny wchodzące w skład tych zbiorowisk wymarły i znany je tylko ze stanu kopalnego, np. nie wiemy, jaka roślina produkowała pyłek *Tricolporopollenites pseudocingulum*, który jest częstym elementem miocenijskich zespołów sporowo-pyłkowych (palinoflor). Graficzną formą przedstawienia wyników tych badań jest diagram palinologiczny (ryc. 16).



Ryc. 16. Uproszczony diagram palinologiczny 1. środkowopolskiego pokładu węgla brunatnego ze złoża „Adamów”, KWB Adamów (za: Widera i in. 2021)
Objaśnienia nazw łacińskich w tab. 9

Przykładowy, chociaż nie typowy, diagram palinologiczny dla pokładu węgla eksploatowanego ze złoża „Adamów” w okolicy Turku (KWB Adamów) pokazuje udział najważniejszych roślin zarówno torfotwórczych, jak i nietorfotwórczych. Roślinność ta porastała torfowisko i jego otoczenie, czasem dość odległe i wysoko

wyniesione. Łatwo można zauważyć, że pyłek wybranych rodzajów drzew (*Pinus*, *Sequoia*, *Nyssa* itd.) przeważa w całym profilu, ale jego zawartość zmienia się w szerokim zakresie. Należy to tłumaczyć lokalnymi wahnięciami zwierciadła wód gruntowych, co skutkuje zmianami typu torfowiska (czasami przerwami w jego rozwoju), a w konsekwencji zmianami zbiorowisk roślinnych (Dybova-Jachowicz, Sadowska 2003). Z drugiej strony, widać generalne trendy wzdłuż całego profilu. Przykładowo od spągu ku stropowi pokładu węglowego wzrasta udział sosny (*Pinus*), a spada udział sekwoi (*Sequoia*) – typowych składników miocenińskiej roślinności nietorfotwórczej (tab. 9). Taką długoterminową tendencję należy łączyć z jednej strony z osuszaniem, a z drugiej strony z ochładzaniem klimatu – sosna jest bardziej chłodnolubna, a sekwoja bardziej ciepłolubna. Ponadto na podstawie omawianych badań palinologicznych oszacowano, że w czasie akumulacji węgla ze złoża „Adamów” średnia roczna temperatura powietrza mieściła się w przedziale 15,7–18,0°C, a klimat był umiarkowany ciepły i wilgotny (Worobiec i in. 2021). W czasie powstawania tego pokładu węgla brunatnego (1. środkowopolskiego) zaznacza się jednak tendencja do stopniowego osuszania i ochładzania klimatu, z jego coraz wyraźniejszą sezonowością (Słodkowska, Widera 2021). Podsumowując, omawiane warunki klimatyczne można porównać do panujących obecnie w południowych i południowo-wschodnich USA, z charakterystyczną florą zawierającą m.in. cypryśniki, błotnie, palmy itd. (porównaj ryc. 14–16 i tab. 9).

5.2. Uwęglenie materii roślinnej

Warunkiem koniecznym powstawania kaustobiolitów szeregu węglowego, w tym węgla brunatnego, jest istnienie roślinności torfotwórczej (niekiedy szczątków zwierzęcych), która została ogólnie scharakteryzowana wyżej. Jednak by powstały złoża węgla, muszą być spełnione także inne warunki prowadzące do uwęglenia materii roślinnej. Obejmują one zarówno procesy biologiczne i chemiczne, jak i fizyczne, takie jak: ciśnienie, temperatura i czas. Dlatego w przemianach materii roślinnej, prowadzących do wzrostu jej uwęglenia w odpowiednich warunkach ciśnienia (P) i temperatury (T), w szeregu węglowym wyróżnia się (Gabzdyl 1987):

- stadium syngenezy – torf (P – atmosferyczne, T – 30–40°C);
- stadium diagenety – węgiel brunatny miękki (P – < 30 atm, T – 65–70°C);
- stadium katagenety wczesnej – węgiel brunatny twardy (P – 100 atm, T – 100°C) i węgiel kamienny energetyczny (P – 1000 atm, T – > 100°C);
- stadium katagenety późnej – węgiel kamienny koksowy (P – 3000 atm, T – 200°C);
- stadium metagenety wczesnej – węgiel kamienny chudy (P – 3000 atm, T – 300°C);
- stadium metagenety późnej – antracyt (P – > 3000 atm, T – 300°C);
- stadium metamorfizmu – metaantracyt i grafit (P – 4000 atm, T – 300–450°C);
- stadium ultrametamorfizmu – grafit (P – > 4000 atm, T – > 450°C).

Ze względu na fakt, że ta monografia poświęcona jest węglowi brunatnemu (głównie miękkiemu), można ograniczyć omawiane procesów uwęglenia do

dwóch pierwszych stadiów. Zachodzą wtedy przemiany biochemiczne oraz fizykochemiczne i geochemiczne. Dlatego na etapie przejścia roślinności w torf, a następnie w węgiel brunatny miękki można mówić o dwóch fazach uwęglania, tj. biochemicznej i geochemicznej.

5.2.1. Faza biochemiczna

Uwęglanie materii roślinnej w fazie biochemicznej (stadium syngenezy) prowadzi do tworzenia się torfu. Przyrost masy torfowej i jej zachowanie w osadzie zależą przede wszystkim od warunków wodnych, które mają decydujący wpływ na dostęp powietrza i aktywność głównie bakterii. W efekcie zmieniające się utleniająco-redukcyjne warunki w torfowisku mogą prowadzić do braku osadu lub powstania różnych typów genetycznych węgli. Stąd wyróżnia się następujące procesy rozkładu szczątków roślinnych: próchnienie, butwienie, torfienie i gnicie. Zgodnie z wymienioną kolejnością spada dostęp powietrza do osadu, a tym samym spada aktywność bakterii tlenowych (aerobowych) kosztem bakterii beztlenowych (anaerobowych) (tab. 10).

Tabela 10. Procesy biochemiczne i ich produkty powstałe w czasie uwęglania materii roślinnej (za: Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997)

Środowisko		Bakterie	Proces biochemiczny	Produkt
tlenowe	powietrza	aerobowe (tlenowe)	próchnienie	popiół (czasem liptobiolity)
			butwienie	ziemia próchnicowa
bездlenowe	spadek dopływu	anaerobowe (beztlenowe)	torfienie	torf
			gnicie	sapropel

Próchnienie. Zachodzi ono przy swobodnym dostępie powietrza, kiedy szczątki roślinne zalegają na suchym podłożu, tj. powyżej poziomu wód gruntowych. W takich warunkach dochodzi do utleniania masy roślinnej oraz jej rozkładu przez owady i mikroorganizmy (grzyby, enzymy, glony, porosty), a przede wszystkim bakterie tlenowe. Te ostatnie rozkładają materiał organiczny na H_2O , CO_2 i CH_4 oraz małe ilości innych węglowodorów (Roga 1958). Dlatego końcowym produktem całkowitego spróchnienia materii roślinnej może być popiół, a tylko czasami liptobiolity.

Butwienie. W środowisku bardziej wilgotnym dopływ tlenu zawartego w powietrzu jest częściowo ograniczony, co powoduje butwienie materii roślinnej. Przy niewystarczającej ilości tlenu aktywność bakterii tlenowych jest utrudniona,

a w konsekwencji nie dochodzi do całkowitego rozkładu materii organicznej. W takich warunkach tylko część wyjściowego materiału roślinnego zostaje przetworzona w H_2O i CO_2 , a pozostała część zostaje wzbogacona w pierwiastek C. Produktem procesu butwienia jest ziemia próchnicowa (ziemia zbutwiała), o odczynie neutralnym lub lekko alkalicznym.

Torfienie. Zachodzi ono pod wodą, niezbyt grubą jej warstwą, zawierającą pewną ilość rozpuszczonego tlenu. Początkowo proces rozkładu materii organicznej następuje jeszcze przy udziale bakterii tlenowych (aerobowych), a potem bakterii beztlenowych (anaerobowych). Środowisko depozycyjne ulega coraz większemu zakwaszeniu, działalność bakterii aerobowych zamiera, a powstały osad (o zawartości C większej niż w próchnicy i ziemi próchnicowej) nazywa się torfem.

Gnicie. Proces gnicia zachodzi w środowisku beztlenowym, pod grubszą (co najmniej kilka metrów) warstwą wody. Takie warunki mogą panować w głębszych partiach jezior, również tych znajdujących się na torfowiskach, tj. poza strefą zasięgu roślinności szuwarowej i wodnej, zakorzenionej w dnie zbiornika (tab. 9). Wtedy bakterie anaerobowe w procesie fermentacji powoli rozkładają materię organiczną. Produktem końcowym procesu gnicia jest sapropel (tab. 10), czyli upłynniony gnijący il organiczny, zwany też szlamem gnilnym (Roga 1958). Sapropel wzbogacony jest w tłuszcze i białka (Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997).

Biorąc pod uwagę wyjściowy materiał roślinny i dominujący proces jego rozkładu w fazie biochemicznej, węgiel brunatny można podzielić na trzy typy genetyczne: humusowy, sapropelowy i liptobiolitowy. Węgiel humusowy (humolit) powstaje z butwiejących szczątków roślinnych na torfowisku w warunkach tlenowych, czyli obfituje w humus. Ten typ węgla dominuje wśród polskich węgla brunatnych. Węgiel sapropelowy (sapropelit), zwany też bitumicznym, obfituje w związki węglowodorowe. Powstaje on jako osad denny z gnijącej materii organicznej (głównie glonów) w warunkach beztlenowych. Natomiast węgiel liptobiolitowy (liptobiolit), dawniej nazywany także pioropissytowym, powstaje z bardzo odpornych na destrukcję produktów roślinnych, takich jak: żywice, woski, kutykule i sporomorfy (Brzyski 1984, Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997).

5.2.2. Faza geochemiczna

Z punktu widzenia chemii węgla postawienie ostrej granicy między poszczególnymi, wyżej omówionymi, procesami zachodzącymi w fazie biochemicznej (torfu) nie jest możliwe. Po prostu przejście między tymi procesami jest płynne. Podobnie jest z granicą między fazą biochemiczną (torfu) a fazą geochemiczną (węgla). Natomiast z punktu widzenia geologii złóż granicę tę jednoznacznie wyznacza moment, w którym torf zostaje przykryty mineralnym nadkładem (van Krevelen, Schuyer 1959, Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997). Tak więc zasadniczą część procesu uwęglenia materii roślinnej zachodzi w fazie geochemicznej. Za główne czynniki wpływające na przebieg tego procesu uważa się: ciśnienie, temperaturę i czas.

Ciśnienie. Przez długie lata wskazywano na ciśnienie nadkładu jako główny czynnik w procesie uwęglenia. Potwierdzały to dane z otworów wiertniczych, co

znalazło wyraz w sformułowaniu tzw. praw Hilta i Schürmanna, odpowiednio w drugiej połowie XIX i pierwszej połowie XX wieku (za: van Krevelen, Schuyer 1959). Prawo Hilta wskazuje, że wraz ze wzrostem głębokości maleje zawartość części lotnych. Natomiast prawo Schürmanna głosi, że wraz ze wzrostem głębokości stale maleje zawartość tlenu, a wzrasta zawartość węgla pierwiastkowego. Oba te prawa są aktualne do dzisiaj (patrz tab. 3), chociaż w przypadku cienkich (do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu metrów) pokładów miękkiego węgla brunatnego są one trudne do potwierdzenia.

Obciążenie torfu, a następnie węgla brunatnego nadkładem prowadzi do szeroko pojętej kompaktacji. Po pierwsze, woda porowa zostaje częściowo wyparta – konsolidacja filtracyjna. Po drugie, część wody wolnej przechodzi w wodę związaną na powierzchni materiału roślinnego – konsolidacja strukturalna. Oba wymienione procesy prowadzą do zmniejszenia grubości pokładu torfu/węgla brunatnego. Stosując tzw. metodę stratygraficzną (porównanie grubości pokładu węglowego i zrekonstruowanej, wyjściowej głębokości torfowiska), obliczono, że przy przejściu od torfu (w chwili przykrycia nadkładem) do obecnie obserwowanych pokładów węglowych grubość warstwy organicznej uległa znacznemu zmniejszeniu, ale nie tak dużemu, jak mogłoby się wydawać. Przykładowo dla polskich pokładów węgla brunatnego rozmiary kompaktacji średnio wynoszą około 2,0 dla 1. środkowopolskiego pokładu i około 2,5 dla 2. łuzycznego pokładu (Widera 2002). Oznacza to, że 1 m węgla brunatnego powstał odpowiednio z 2 lub 2,5 m torfu w chwili zakończenia jego akumulacji. Na podstawie przeglądu literatury geologicznej można stwierdzić, że dla większości światowych złóż węgla brunatnego uśredniony współczynnik kompaktacji mieści się w przedziale 2–4 (Widera 2015).

Cisnienie statyczne wywierane na makroszczałki roślinne (ksylity) powoduje, że przyjmują one coraz bardziej horyzontalną pozycję oraz ulegają spłaszczeniu, czyli kompaktacji (ryc. 17). W tym przypadku dochodzi do deformacji równopowierzchniowych, co oznacza, że powierzchnia przekroju poprzecznego fragmentów drewna w procesie uwęglania nie zmienia się, ale zmienia się jego kształt od kolistego do eliptycznego. Wykonując proste pomiary spłaszczonego ksylitu, tj. długości pól *a* i *b*, można obliczyć dla niego współczynnik kompaktacji według wzoru (ryc. 17D):

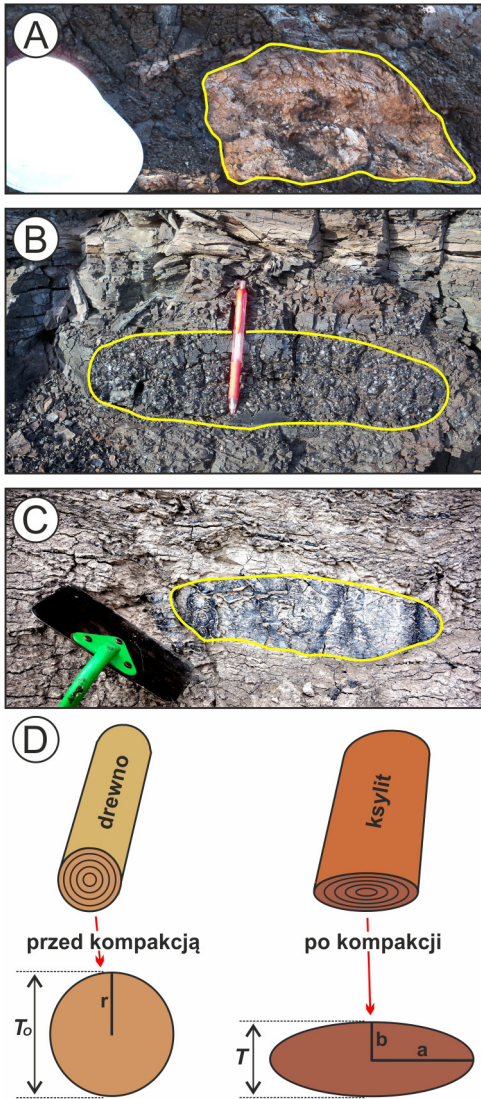
$$Wks = (a/b)^{0,5},$$

gdzie:

Wks – współczynnik kompaktacji ksylitu,

a i *b* – pólوسیe spłaszczonego ksylitu.

Wartość współczynnika kompaktacji ksylitów jest mniejsza niż obliczona metodą stratygraficzną dla całego pokładu węglowego. Spowodowane jest to tym, że pokład torfu/węgla brunatnego składa się z bardziej podatnego na kompaktację detrytusu oraz mniej podatnych fragmentów roślinności drzewiastej, czyli ksylitów. Dlatego w celu obliczenia współczynnika kompaktacji dla całego pokładu węglowego należy uśrednione wartości *Wks*, otrzymane dla ksylitów, pomnożyć przez 1,67 – wartość oszacowana dla dwóch najmłodszych polskich pokładów węgla brunatnego (Widera 2015).



Ryc. 17. Porównanie skutków kompaktacji ksyliatów z pokładów węgla o różnym stopniu uwęglenia (fot. M. Widera)

A – nieznacznie spłaszczony ksylyt z widoczną strukturą drewna – 1. środkowopolski pokład, środkowy miocen (złoże „Pałnów III”, KWB Konin); B – silnie spłaszczony i żelifikowany ksylyt – 3. ścinawski pokład, dolny miocen (złoże „Turów”, KWB Turów); C – silnie spłaszczony i uwęglony ksylyt – osady między 2. łużyckim a 3. ścinawskim pokładem, dolny miocen (złoże „Bilina”, kopalnia Bilina, południowo-zachodnie Czechy); To – wysokość (średnica) przekroju drewna, r – promień przekroju drewna, T – wysokość spłaszczonego (skompaktowanego) ksylytu, a – dłuższa półoś spłaszczonego ksylytu, b – krótsza półoś spłaszczonego ksylytu

Temperatura. Od co najmniej lat 50. XX wieku temperatura uznawana jest za główny czynnik decydujący o stopniu uwęglenia materii organicznej (van Krevelen, Schuyer 1959). Jest ona funkcją ciśnienia (grubości nadkładu), ale także gradientu geotermicznego, którego odwrotnością jest stopień geotermiczny. Obecnie wartości stopnia geotermicznego na obszarze Polski różnią od około 100 m/1°C na północnym wschodzie do około 20 m/1°C na południowym zachodzie. Podobnie było w miocenie, kiedy tworzyły się główne pokłady węgla brunatnego na Niżu Polskim i w zapadlisku śródgórskim, np. w niecce żytawskiej – złoże „Turów”. Dodatkowo wpływ na silne zróżnicowa-

nie przepływu ciepła z głębi Ziemi miały i mają zjawiska wulkaniczne. Dlatego w pierwszym przypadku mówi się o paleotemperaturze zależnej od stopnia geotermicznego, a w drugim o temperaturze kontaktowej (Kruszewska, Dybowa-Jachowicz 1997).

Obecnie uważa się, że węgiel brunatny miękki powstał w temperaturze poniżej 70°C, gdyż w wyższej powstawały już węgle kamienne. Pamiętać jednak należy, że chodzi o maksymalną temperaturę, w jakiej znalazła się materia organiczna w jej historii geologicznej. Można to prosto wyjaśnić na przykładzie węgla kamiennych z Dolnego lub Górnego Śląska, które w pewnych miejscach odslaniają

się na powierzchni terenu. Fakt, że są one na stopniu uwęglenia typowym dla węgla kamiennego, dowodzi niezbicie, iż w przeszłości geologicznej były pograżone na głębokości, na której temperatura przekraczała 70–100°C, tj. co najmniej 2 km, licząc dla stopnia geotermicznego równego 33 m/1°C.

Najlepszym dowodem na przewagę temperatury nad ciśnieniem w procesie uwęglania są zjawiska wulkaniczne. Przykładowo torf świeżo przykryty przez nadkład mineralny o małej grubości (małe ciśnienie statyczne) w wyniku intruzji wulkanicznej (gwałtowny wzrost temperatury kontaktowej) może szybko przejść w naturalny koks (Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997).

Czas. Sam czas geologiczny nie odgrywa roli w procesie uwęglania. Rolę czasu w procesie uwęglania należy rozpatrywać jako czas oddziaływania temperatury i ciśnienia na depozyt. Dowodzi tego karboński węgiel brunatny z Zagłębia Podmoskiewskiego. Jest to bardzo dobry i często podawany przykład w literaturze. Węgiel ten tworzył się w tym samym okresie (ponad 300 mln lat temu) co polski węgiel kamienny, na co niezbicie wskazuje prawie identyczny ich skład botaniczny. Niemniej jednak węgiel podmoskiewski jest ciągle na etapie uwęglania odpowiadającym węglowi brunatnemu, a nie kamiennemu. Wynika to z faktu, że omawiany węgiel (złoża) znajduje się na obszarze platformowym, który nie podlegał od karbonu ruchom orogenicznym. W efekcie węgiel podmoskiewski nigdy nie był przykryty nadkładem o grubości liczonej w kilometrach (niska paleotemperatura), a także nie odnotowano na tym obszarze zjawisk wulkanicznych (brak wpływu temperatury kontaktowej). Ocenia się, że temperatura w podmoskiewskich złożach nigdy nie przekraczała 20–25°C, dlatego występujący w nich węgiel brunatny przetrwał do dzisiaj (Kruszewska, Dybova-Jachowicz 1997).

Innym, rzadko wspomnianym przykładem jest czwartorzędowe torfowisko Philippi, które znajduje się w północno-wschodniej Grecji. Na tym obszarze torf był akumulowany od około 700 tys. lat temu do lat 40. XX wieku, kiedy torfowisko zostało osuszone dla celów rolniczych. Z jednej strony jest to najgrubsze współczesne torfowisko na świecie (ok. 190 m), a z drugiej strony przykład stopniowego (facjalnego) przejścia torfu w węgiel brunatny. Według M. Teichmüller (za: Christanis i in. 1998) na pewnej głębokości torf ma już cechy fizyczne (np. zawartość wody poniżej 75%, tab. 3) typowe dla miękkiego węgla brunatnego. Podsumowując, oba wspomniane przykłady węgli brunatnych wieku karbońskiego i czwartorzędowego (różnica wieku ponad 300 mln lat) jasno dowodzą, że czynnik czasu odgrywa najmniejszą, drugorzędną rolę w procesie uwęglania materii roślinnej.

6. Złóża węgla brunatnego

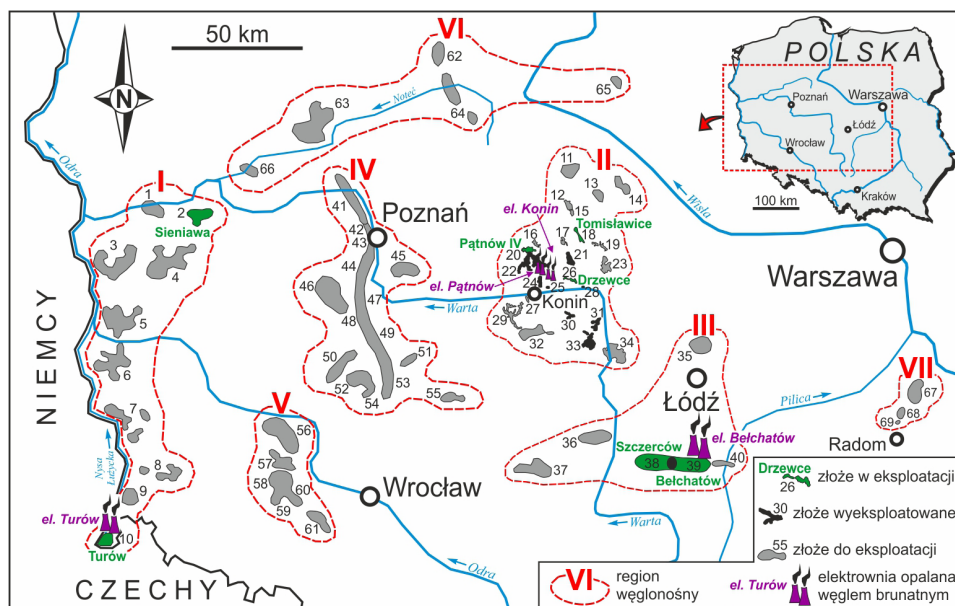
6.1. Regionalizacja złóż

W Polsce znanych jest ponad 150 złóż węgla brunatnego, których łączne zbilansowane zasoby geologiczne na koniec 2019 roku wynosiły blisko 23,262 mld ton. Zasoby tworzy przede wszystkim węgiel energetyczny, a tylko niewielką ilość (0,64 mln ton, złożo „Kaławsk”) obejmuje węgiel bitumiczny (Mazurek, Tymiański 2020). Wśród tych złóż mniej niż połowa ma lub może mieć znaczenie ekonomiczne (Ciuk, Piwocki 1990, Kasiński i in. 1991, Kasiński, Piwocki 2002).

Najważniejszych 69 polskich złóż węgla brunatnego występuje w 7 regionach węglonośnych (I–VII), obejmujących głównie Polskę środkową i zachodnią (ryc. 18, tab. 11). Spośród nich dominująca część zlokalizowana jest na obszarze Niżu Polskiego. Z większych złóż węgla brunatnego miękkiego tylko złoża „Turów” i „Radomierzyce” znajdują się w Sudetach Zachodnich. Ponadto raz jeszcze należy wspomnieć o złożach węgla brunatnego twardego, występujących poza Niżem Polskim w skałach wieku od triasowego do miocenińskiego (Wagner 2013). Nie mają one jednak znaczenia ekonomicznego, dlatego nie omawiano ich bardziej szczegółowo w tej monografii. Wyróżnione regiony węglonośne węgla brunatnego miękkiego scharakteryzowano w kolejności ich rozpoznania geologicznego, rozwoju górnictwa i potencjalnych możliwości zagospodarowania złóż tam występujących. Należy jednak zauważyć, że głównym kryterium zaliczenia złoża węglowego do określonego regionu jest bliskość geograficzna.

6.1.1. Region zachodni – I

Region zachodni obejmuje tereny ciągnące się pasem od najbardziej południowo-zachodnich krańców Polski wzdłuż Nisy Łużyckiej do dolnego biegu Warty (ryc. 18). Administracyjnie region zachodni obejmuje województwa dolnośląskie i lubuskie, gdzie występuje 10 głównych złóż węgla brunatnego, o zasobach ponad 4 mld ton węgla. Spośród nich tylko 2 złoża są obecnie eksploatowane, tj. „Sienawa” i „Turów” (ryc. 18, tab. 11). Jest to region, gdzie górnictwo węgla brunatnego na skalę przemysłową rozpoczęło się już w drugiej połowie XIX i na początku XX wieku. Do połowy lat 80. ubiegłego stulecia region zachodni odgrywał rolę wiodącą w wydobywaniu węgla brunatnego w Polsce.



Ryc. 18. Lokalizacja głównych polskich złóż węgla brunatnego (za: Ciuk, Piwocki 1990, Kasiński i in. 1991, Piwocki 1992, Kasiński, Piwocki 2002, Widera i in. 2016)
Nazwy regionów węglonośnych oraz numery i nazwy złóż w tab. 11

6.1.2. Region konińsko-adamowski – II

Nazwa tego regionu pochodzi od nazw kopalń tam funkcjonujących. Obejmuje on okolice Konina i Turku na południowym zachodzie po okolice Włocławka na północnym wschodzie. Są to tereny wschodniej Wielkopolski i południowej części Kujaw. W regionie konińsko-adamowskim występuje najwięcej, bo aż 24, złóż węgla brunatnego o niewielkich zasobach (najczęściej od kilku do kilkudziesięciu milionów ton, tylko złóż „Piaski” o zasobach ponad 100 mln ton). Obecnie w tym regionie eksploatowane są 3 złoża, tj.: „Pątnów IV”, „Drzewce” i „Tomisławice” (ryc. 18, tab. 11). Przemysłowe górnictwo węgla prowadzone było dotychczas tylko we wschodniej Wielkopolsce – w okolicach Konina od 1942 roku, a w okolicach Turku od 1964 roku (Ciuk 1994, Widera 2000).

6.1.3. Region łódzko-bełchatowski – III

Region ten obejmuje okolice Łodzi i Bełchatowa w środkowej Polsce, które leżą w województwie łódzkim. Na tym terenie wyróżniono tylko 6 głównych złóż (ponad 2 mld ton węgla pozostało do wydobywania), z których złoża „Bełchatów” i „Szczerców” są obecnie eksploatowane, a złóż „Złoczew” jest w rezerwie energetycznej dla Polski (ryc. 18, tab. 11). Warto też wspomnieć o złożu „Rogóżno”, o zasobach bilansowych ponad 400 mln ton, którego zagospodarowaniem (ze względu na lokalizację i wielkość zasobów) zainteresowana była zarówno KWB

Tabela 11. Zestawienie głównych polskich złóż węgla brunatnego według regionalizacji i numeracji pokazanej na rycinie 18. Zasoby geologiczne według stanu na 31.12.2019 (za: Mazurek, Tymiński 2020)

Region	Numer złoża	Nazwa złoża	Zasoby geologiczne [mln ton]	Wydobycie w 2019 roku [mln ton]
Zachodni – I	1	„Rogi–Rudnica”***	76,5	–
	2	„Sieniawa”	43,0	0,296
	3	„Rzepin”	249,5	–
	4	„Torzym”	843,9	–
	5	„Cybinka–Sądów”	464,0	–
	6	„Gubin–Zasieki–Brody”	2019,0	–
	7	„Mosty”	175,4	–
	8	„Parowa–Ruszków–Węgliniec”*	36,1	–
	9	„Radomierzyce”	349,1	–
	10	„Turów”	327,5	5,0
Konińsko- -adamowski – II	11	„Radojewice”*	83,9	–
	12	„Chełmce”	44,3	–
	13	„Radziejów	43,0	–
	14	„Włocławek”*	55,1	–
	15	„Piotrków Kujawski”*	22,5	–
	16	„Ościśłowo”	41,3	–
	17	„Morzyczyn”	26,1	–
	18	„Tomisławice”	38,6	2,3
	19	„Mąkoszyn–Grochowiska”	50,9	–
	20	„Pątnów IV”	6,5	2,2
	21	„Lubstów”	1,9 ***	–
	22	„Pątnów I–III”	3,8 ***	–
	23	„Dęby Szlacheckie–Izbica Kujawska”	103,2	–
	24	„Niesłusz–Gosławice”	***	–
25	„Morzysław”	***	–	
26	„Drzewce”	4,1	1,3	
27	„Rumin”	0,058	–	
28	„Ochle”	1,2	–	
29	„Piaski”	108,4	–	
30	„Władysławów”	13,2 ***	–	
31	„Kozmin”	11,2 ***	–	
32	„Śiąszyce–Grochowy”	48,2	–	
33	„Adamów”	10,6	0,895	
34	„Uniejów”	42,0	–	

Region	Numer złoża	Nazwa złoża	Zasoby geologiczne [mln ton]	Wydobycie w 2019 roku [mln ton]
Łódzko-bełchatowski – III	35	„Rogóžno”	419,1	–
	36	„Złoczew”	612,0	–
	37	„Wieruszów”	117,6	–
	38	„Szczerców”	711,1	36,4
	39	„Bełchatów”	53,9	4,4
	40	„Kamieńsk”	132,4	–
Wielkopolski – IV	41	„Szamotuły”	746,3	–
	42	„Naramowice”	296,3	–
	43	„Poznań Miasto”*	652,1	–
	44	„Mosina”	1495,4	–
	45	„Środa Wielkopolska”*	249,6	–
	46	„Cykowo-Sepno-Racot”*	110,6	–
	47	„Czempiń Miasto”*	361,1	–
	48	„Czempiń”	1034,6	–
	49	„Krzywiń”	666,5	–
	50	„Góra”*	818,4	–
	51	„Pogorzela”*	142,6	–
	52	„Poniec-Krobia”*	1749,7	–
	53	„Gostyń”	1988,8	–
	54	„Oczkowice”	996,3	–
55	„Sulmierzyce”*	89,9	–	
Legnicko-ścinawski – V	56	„Ścinawa-Głogów”*	9949,2	–
	57	„Ścinawa”	1767,0	–
	58	„Legnica Północ”	1723,0	–
	59	„Legnica Zachód”	863,6	–
	60	„Legnica Wschód”	839,3	–
	61	„Ruja”	345,1	–
Północno-zachodni – VI	62	„Więcbork”	509,1	–
	63	„Trzcianka”	300,1	–
	64	„Nakło”	245,3	–
	65	„Wąbrzeźno”*	34,6	–
	66	„Drezdenko”*	141,4	–
Radomski –VII	67	„Głowaczów”	76,3	–
	68	„Wola Owadowska”	13,3	–
	69	„Owadów”	3,0	–

* – zasoby geologiczne wstępnie rozpoznane (za: Kasiński i in. 2006); ** – zasoby geologiczne wstępnie rozpoznane (za: Kasztelewicz 2008a); *** – eksploatacja zakończona

Bełchatów, jak i KWB Adamów (Kasztelewicz, Zajączkowski 2011). Górnictwo w regionie łódzko-bełchatowskim rozpoczęło się dopiero w 1980 roku, ale już po kilku latach (1988 rok) ponad 50% polskiego węgla brunatnego pochodziło z KWB Bełchatów (Kasztelewicz 2004, 2008a).

6.1.4. Region wielkopolski – IV

W zasadzie ten region obejmuje część wielkopolskich złoŜ węgla brunatnego, związanych genetycznie ze strefami uskokowymi przebiegającymi w przybliŹeniu południkowo od Szamotuł na północy, poprzez Poznań, po Gostyń na południu. Ponadto do tego regionu węglonošnego zaliczono kilka złoŜ po obu stronach wspomnianych stref (ryc. 18, tab. 11). Łącznie jest to 15 złoŜ z zasobami ponad 11 mld ton węgla brunatnego moŹliwego do eksploatacji (Piwocki 1991). W regionie tym nie podjęto dotychczas wydobycia węgla brunatnego na skalę przemysłową.

6.1.5. Region legnicko-šcinawski – V

Ten region węglonošny obejmuje 6 złoŜ w okolicach Legnicy i Šcinawy na Dolnym Šląsku (ryc. 18, tab. 11). Ich łączne geologiczne zasoby bilansowe (udokumentowane i prognostyczne) sięgają około 15,5 mld ton. Natomiast największe udokumentowane (w kategorii B + C1) zasoby bilansowe mają złoŜa „Legnica Zachód” i „Legnica Wschód” – razem ponad 1,5 mld ton (Kasiński 2009, tab. 11). W rejonie legnicko-šcinawskim nie rozpoczęto dotychczas przemysłowej eksploatacji węgla brunatnego.

6.1.6. Region północno-zachodni – VI

Jest on najbardziej rozciągniętym równoleŹnikowo, głównie wzdłuŹ Noteci, regionem węglonošnym w Polsce. Obejmuje 5 złoŜ węgla brunatnego, tj. złoŜe „Drezdenko” w województwie lubuskim, złoŜe „Trzcianka” w województwie wielkopolskim oraz złoŜa „Więcbork”, „Nakło” i „WąbrzeŹno” w województwie kujawsko-pomorskim (ryc. 18, tab. 11). Poza złoŜem „WąbrzeŹno” sà to złoŜa o zasobach bilansowych przekraczających 100 mln ton (Kasiński i in. 2006). Łączne zasoby w regionie północno-zachodnim nieznacznie przekraczają 1,2 mld ton (tab. 11). Niemniej jednak dotychczas wyłacznie KWB Konin była zainteresowana zagospodarowaniem złoŜa „Trzcianka”.

6.1.7. Region radomski – VII

Region ten obejmuje tereny na północ i północny wschód od Radomia, gdzie występują 3 złoŜa: „Głowaczów”, „Wola Owadowska” i „Owadów”. Łączne zasoby geologiczne tych złoŜ wynoszą nie więcej niŹ 100 mln ton (ryc. 18, tab. 11). Tylko złoŜe „Głowaczów”, o zasobach bilansowych około 76 mln ton, nadawałoby się do wykorzystania przemysłowego w sprzyjających warunkach gospodarczych. Natomiast pozostałe dwa złoŜa zostały zaklasyfikowane jako złoŜa lokalne, czyli

mogłyby być eksploatowane wyłącznie na potrzeby miejscowej ludności (Kasiński i in. 2006).

6.2. Stratygrafia pokładów w złożach

Obecnie obowiązujące nazewnictwo i ranga polskich pokładów (grup pokładów) węgla brunatnego została ustalona w połowie lat 90. XX wieku (Piwocki, Ziemińska-Tworzydo 1995, 1997). Ich pozycja stratygraficzna, w tym chronostratygraficzna, nawiązuje do schematów z obszaru Dolnych Łużyc w południowo-wschodnich Niemczech (ryc. 19). Zaprezentowany podział nie obejmuje 7. odrzańskiej (późny paleocen) i 6. tanowskiej (środkowy eocen) grupy pokładów,

Chronostratygrafia	Wiek mln lat	Litologia	Pokłady węgla brunatnego	
			Polska zachodnia i środkowa	Niemcy SE
NEOGEN	holocen			
	plejstocen	0,0117		
		2,58		
	pliocen	5,333		
		miocen	górny	0. orłowski (OPWB-0)
	11,63			1a. oczkowicki (OPWB-1a)
	miocen	środkowy	1. środkowopolski (ŚPWB-1)	1. łużycki
			2a. łużycki (ŁPWB-2a)	
		dolny	2. łużycki (ŁPWB-2)	2. łużycki
			15,97	3. ścinański (ŚPWB-3)
oligocen	górny	4. dąbrowski (DPWB-4)	4. łużycki	
		23,03		
paleocen	dolny	5. czempiński (CPWB-5)	5. łużycki	
		28,1		
	eocen górny	33,9		

pokład węgla
 osady klastyczne
 hiatus, luka stratygraficzna

Ryc. 19. Pozycja stratygraficzna, nazewnictwo i korelacja pokładów węgla brunatnego między środkowo-zachodnią Polską a południowo-wschodnimi Niemcami

Chronostratygrafia (za: Cohen i in. 2013); nazwy polskich pokładów głównych (pogrubione) i towarzyszących (bez pogrubienia) (za: Piwocki, Ziemińska-Tworzydo 1995, 1997); nazwy niemieckich głównych pokładów (za: Standke i in. 1993)

które nie tworzą złóż o wartości ekonomicznej (Ciuk 1970, Piwocki 2004). Natomiast pozostałe główne, a okazjonalnie także towarzyszące pokłady (lub grupy pokładów), zostały zbilansowane. Tworzą one złoza, które miały, mają lub mogłyby mieć w przyszłości potencjalne znaczenie gospodarcze. Dlatego zostały one krótko scharakteryzowane z podziałem na pokłady główne i towarzyszące (ryc. 19). Ponadto określono ich przynależność do odpowiedniej jednostki litostratygicznej w randze formacji i/lub ogniwa (ryc. 20).

Chrono-stratygrafia		Wiek mln lat	Litologia	Jednostka litostratygiczna	Pokład węgla brunatnego		
N E O G E N	holocen	0,0117		holocen i plejstocen glaciogeniczny - czwartorzęd (Q)			
	plejstocen						
	pliocen	2,58		form. gozdnicka (fg)			
		5,333	„iły płomieniste” 0			og. wielkopolskie (ow)	form. poznańska (fpoz)
	m i o c e n	górnym	11,63	„iły zielone” 1a	og. itów szarych (oisz)		
			środkowym	15,97		2a	form. naramowicka (daw. form. adamowska) (fn) form. pawłowicka (fp)
		dolnym		23,03	3	og. żarskie (oż) og. dąbrowskie (od)	form. ścinawska (fś) form. ra-wicka (fr)
	33,9		4				
	P A L E O G E N	o l i g o c e n	górnym		form. leszczyńska (fl)	paleogen (Pg)	
				28,1			5
eocen		górnym		form. czempińska (fcz)			
			33,9			form. mosińska dolna (fmd)	

pokład węgla
 osady klastyczne
 hiatus, luka stratygiczna

Ryc. 20. Przynależność litostratygiczna pokładów węgla brunatnego na Niziu Polskim (Piwocki, Ziemińska-Tworzydło 1995, 1997, Widera 2007)

Pełne nazwy pokładów węglowych (aktualne i dawne) w tab. 12; form. – formacja, og. – ogniwo, daw. – dawniej; pozostałe objaśnienia na ryc. 19

6.2.1. Pokłady główne

W obrębie polskich złóż węgla brunatnego o znaczeniu ekonomicznym wyróżnia się łącznie 5 głównych pokładów: 5. czempiński, 4. dąbrowski, 3. ścinawski, 2. łużycki i 1. środkowopolski. Należy jednak zauważyć, że ujednolicenie nazw

pokładów głównych zostało zaproponowane dopiero około ćwierć wieku temu (Piwocki, Ziemińska-Tworzydło 1995, 1997). Wcześniej współwystępowały co najmniej dwa główne, nie licząc lokalnych, systemy terminologiczne (Ciuk 1970, Dyjor 1970). Dlatego aby ułatwić czytelnikowi zrozumienie starszych publikacji i opracowań geologicznych, zestawiono wspomniane starsze i aktualnie obowiązujące nazewnictwo w postaci tabelarycznej (tab. 12).

Tabela. 12. Zestawienie nazw głównych pokładów węgla brunatnego obowiązujących w różnym czasie i w różnych częściach Polski (za: Ciuk 1970, Dyjor 1970, Piwocki, Ziemińska-Tworzydło 1995)

Nazwy pokładów (grup pokładów) węgla brunatnego		
Niż Polski bez Dolnego Śląska i Ziemi Lubuskiej (Ciuk 1970)	Dolny Śląsk i Ziemia Lubuska (Dyjor 1970)	cały Niż Polski (Piwocki, Ziemińska-Tworzydło 1995, 1997)
1. środkowopolski	1. Henryk	1. środkowopolski
2. ścinawski	2. łużycki	2. łużycki
3. rawicki	3. ścinawski	3. ścinawski
4. dąbrowski	4. głogowski	4. dąbrowski
5. czempiński	–	5. czempiński

Pozycja chronostratygraficzna i litostratygraficzna pokładów węgla na ryc. 19 i 20

Najstarszy główny pokład węgla brunatnego (5. czempiński) jest wieku wczesnooligocénskiego (ryc. 19) i zlokalizowany jest w obrębie formacji czempińskiej (ryc. 20). Występuje on na niewielkim obszarze Polski zachodniej (głównie w okolicach Zielonej Góry, Poznania i Koszalina) i nad wysadami solnymi w środkowej części kraju. Węgłe tego pokładu zajmują powierzchnię około 7,7 tys. km² (ryc. 21, Piwocki 1992). Najczęściej tworzą one 1–3 pokłady o grubości do 1 m, lokalnie tylko osiągają łącznie do 8 m miąższości. Inaczej sytuacja wygląda nad wysadami solnymi, gdzie 5. czempiński pokład może mieć grubość sięgającą 45 m, np. w złożu „Rogóźno” koło Łodzi (ryc. 18, tab. 11). Jest to jedyne miejsce, gdzie ten pokład węglowy spełnia kryteria bilansowości (Mazurek, Tyimiński 2020).

Dolny miocen rozpoczynają węgle 4. dąbrowskiego pokładu, należącego do dolnej części formacji rawickiej, tj. do ogniwa dąbrowskiego (ryc. 19, 20). Występuje on na obszarze około 7,1 tys. km², ciągnącym się równoleżnikowym pasem od południowo-zachodnich rubieży Wielkopolski, poprzez Ziemię Lubuską do granicy z Niemcami (ryc. 22A). Miąższość tego pokładu wynosi średnio 6,4 m, jednak w niektórych miejscach rozszczepia się on nawet na 6 warstw (ław) węglowych o łącznej grubości do 30,8 m (Piwocki 1998). Pokład dąbrowski maksymalną miąższość, przekraczającą lokalnie 25 m, osiąga też na obszarze złóż „Gubin”, „Gubin–Zasieki–Brody” i „Ścinawa”. W pewnych częściach tych złóż ma on cechy bilansowe (Kasiński 2009).

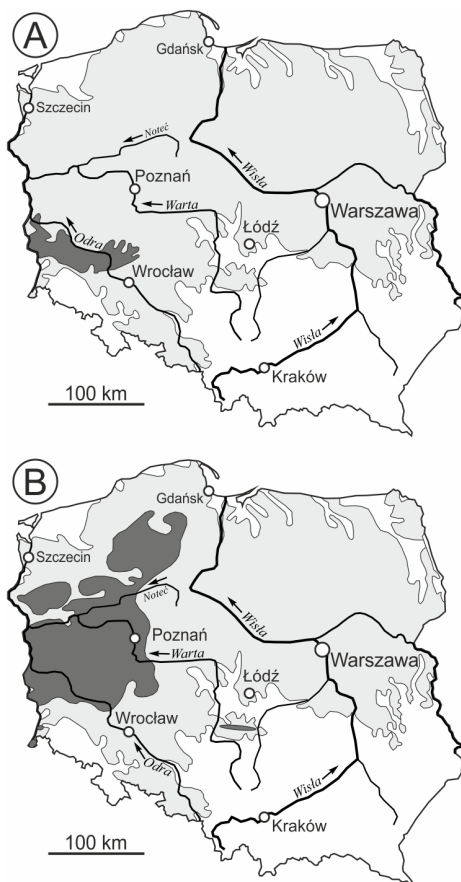
Kolejny dolnomiocénski, tj. 3. ścinawski, pokład węgla brunatnego występuje w spągowych partiach formacji ścinawskiej (ryc. 19, 20). Obejmuje on tereny Polski środkowo-zachodniej i środkowo-północnej o powierzchni około 30



Ryc. 21. Przybliżony zasięg dolnooligocen-skiej 5. czempieńskiej grupy pokładów węgla brunatnego (za: Piwocki 1992, 1998)

tys. km² (ryc. 22B). Pokład ten osiąga miąższość ponad 10 m w tzw. rowach poznańskich, do 30 m w złożach „Ścinawa” i „Mosty” oraz do 35 m w następujących złożach: „Turów”, „Bełchatów”, „Szczerców” i „Złoczew” (Kasiński 2000, 2004, 2009, Urbański, Widera 2020). Trzeba jednak zauważyć, że w ostatnich trzech złożach grubość 3. ścinawskiego pokładu może być większa, gdyż często łączy się on (brak przewarstwienia mineralnego) z wyżej leżącym 2. pokładem łuzickim. Omawiany pokład (3. ścinawski) jest obecnie eksploatowany ze złóż „Turów”, „Bełchatów” i „Szczerców”.

Największe znaczenie gospodarcze mają dwa najmłodsze, środkowioceńskie pokłady węgla brunatnego (ryc. 19). Starszy z nich, tj. 2. pokład łuzicki, należy do górnej części formacji ścinawskiej (ryc. 20). Zajmuje on powierzchnię około 61 tys. km² oraz występuje głównie w Polsce zachodniej i północnej (ryc. 23A). Pokład ten często rozszczepia się nawet na 9 ław węglowych, szczególnie w brzeżnych, przyuskokowych częściach złóż (Piwocki i in. 2004). Jego miąższość w rowach poznańskich (złoża: „Szamotuły”, „Naramowice”, „Mosina”, „Czempiń”, „Krzywiń”, „Gostyń”) i innych zapadliskach tektonicznych (złoża: „Turów”,

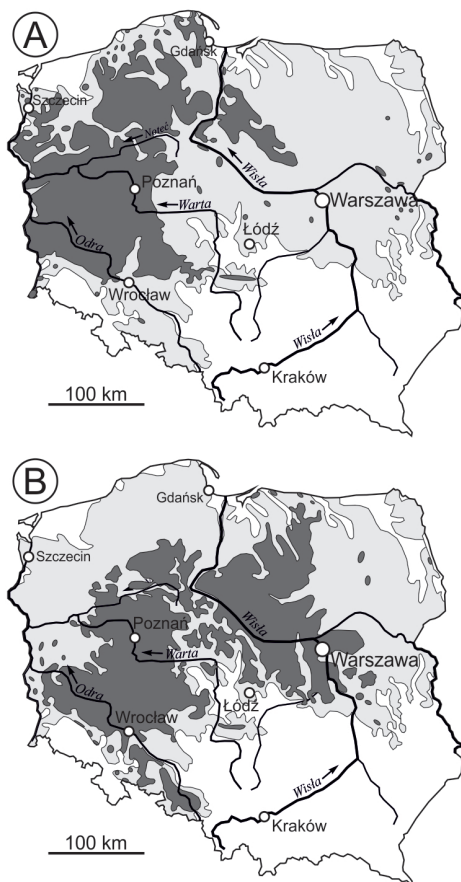


Ryc. 22. Przybliżony zasięg dolnomiocen-skich grup pokładów węgla brunatnego (za: Piwocki 1992)

A – 4. dąbrowski pokład; B – 3. ścinawski pokład; objaśnienia jak na ryc. 21

„Radomierzyce”, „Lubstów”, „Belchatów”, „Szczerców” i „Złoczew”) przekracza 40–80 m. Warto zauważyć, że w złożu „Belchatów” ciągła grubość 2. łużyckiego i 3. ścinawskiego łącznie przekraczała przed eksploatacją 250 m (Piwocki 1992).

Największym rozprzestrzenieniem, wynoszącym około 70 tys. km², cechuje się 1. środkowopolski pokład węgla brunatnego (ryc. 23B). Litostratygraficznie należy on do dolnej części formacji poznańskiej, tj. do ogniwa ilów szarych (ryc. 20). Maksymalną miąższość (ponad 19 m) 1. środkowopolski pokład osiągał w złożu „Pątnów I” (złoże wyeksploatowane) koło Konina, ale średnio nie przekracza 10 m (Piwocki 1992, Widera 1998, 2007). Pokład ten w regionie konińsko-adamowskim rzadko rozszczepia się na ławy węglowe. Natomiast na innych obszarach jego występowania, np. w okolicach Poznania (złoże „Naramowice”), składa się z 2–3 względnie cienkich warstw (do 1,8 m), przedzielonych kilkumetrowymi warstwami mułów, często węglistych. Region konińsko-adamowski jest jedynym w Polsce, gdzie 1. środkowopolski pokład jest wydobywany na skalę przemysłową. Obecnie eksploatacja prowadzona jest tylko przez KWB Konin (złoża: „Pątnów IV”, „Drzewce”, „Tomisławice”), a do 17 lutego 2021 roku odbywała się także w KWB Adamów, kiedy to wydobyto ostatnią tonę węgla ze złoża „Adamów” (ryc. 18, tab. 11).



Ryc. 23. Przybliżony zasięg środkowomioceńskich grup pokładów węgla brunatnego (za: Piwocki 1992)

A – 2. łużycki pokład; B – 1. środkowopolski pokład; objaśnienia jak na ryc. 21

6.2.2. Pokłady towarzyszące

Wyróżnia się 3 tzw. towarzyszące pokłady węgla brunatnego: 2a. lubiński, 1a. oczkowicki i 0. orłowski (ryc. 19). Poza pokładem 1a. oczkowickim, który został zbilansowany, pozostałe nie mają wartości ekonomicznej, ale są przydatne w korelacji litostratygraficznej osadów górnego neogenu na Niżu Polskim (Piwocki, Ziemińska-Tworzydło 1995, 1997).

Pokład 2a. lubiński w profilu stratygraficznym występuje między pokładami głównymi 2. łuzickim i 1. środkowopolskim (ryc. 19). Wykształcony jest on w postaci 1–4 cienkich ław węglowych o miąższości do 7 m. Pokład ten (i jego odpowiedniki litostratygraficzne – muły i iły, często węgliste) ze względu na duże rozprzestrzenienie pozwala na rozdzielenie dwóch głównie piaszczystych formacji litostratygraficznych, tj. pawłowickiej i naramowickiej – dawniej zwanej adamowską (ryc. 20, Widera 2007).

Natomiast w złożu „Oczkowice” (okolice Rawicza), które jest obszarem stratotypowym dla pokładu 1a. oczkowickiego, zostało udokumentowane w najnowszej dokumentacji prawie 1 mld ton węgla brunatnego. Jego średnia miąższość wynosi 12 m, a maksymalna 34,5 m, co należy łączyć z glacitektoniką (Urbański, Widera 2016). Pokład ten ma też duże rozprzestrzenienie, zwłaszcza w zachodniej Polsce, i najczęściej występuje w stropie tzw. „iłów szarych” formacji poznańskiej (ryc. 20, Piwocki i in. 2004).

Najmłodszy pokład towarzyszący, tj. 0. orłowski, największe miąższości (ponad 3 m) osiąga na północ od Nidzicy – południowe Mazury, w sąsiedztwie wsi Orłowo. W tym miejscu pokład węglowy jest silnie zdeformowany glacitektonicznie (nieciągły, o zmiennej grubości, zawodniony) i nie ma wartości ekonomicznej (Ciuk 1968a). Stratygraficznie 0. orłowski pokład węgla brunatnego zalega w stropie tzw. „iłów zielonych” formacji poznańskiej (ryc. 20). Pomimo znikomej wartości ekonomicznej jest on przydatny do korelacji osadów między znacznie oddalonymi otworami wiertniczymi (Piwocki i in. 2004).

6.3. Bilansowość, zasoby i waloryzacja złóż

Wyżej wykazano, że różnowiekowe warstwy węgla brunatnego (będącego kopalinią, która stanowi przedmiot eksploatacji górniczej) na Niżu Polskim mają znaczne rozprzestrzenienie terytorialne, od około 7,1 do około 70 tys. km² (ryc. 21–23), i bardzo zmienną miąższość do ponad 250 m. Stąd można nazwać je pokładami, chociaż nie każdy z nich, a nawet ich przeważająca część, tworzy złoże węgla brunatnego. Dlatego należy zacząć od podania definicji złoże tej kopaliny.

Złożem węgla brunatnego (jak każdej innej kopaliny) jest takie jego nagromadzenie w skorupie ziemskiej, które nadaje się do eksploatacji górniczej, gdy odpowiada określonym wymaganiom ilościowym, jakościowym, technicznym oraz ekonomicznym. Ilość węgla powinna zapewnić rentowną eksploatację, jego jakość powinna spełniać wymagania istniejących technologii, wydobycie i przeróbka musi być realna, a wykorzystanie opłacalne w warunkach współczesnych możliwości technicznych i ekonomicznych (Gruszczuk 1984). Innymi słowy, żeby wystąpienie (pokład) węgla brunatnego nazwać złożem, to musi ono spełniać określone kryteria geologiczno-górnicze i chemiczno-technologiczne. W tym celu należy oszacować jakość kopaliny (węgla brunatnego) i zasoby złóż, co wiąże się z ich rozpoznaniem w odpowiedniej kategorii (Rozporządzenie... 2015).

6.3.1. Parametry geologiczno-górniczne

Podstawowymi parametrami definiującymi złoża węgla brunatnego nadającego się do eksploatacji odkrywkowej są: głębokość spągu, miąższość węgla, stosunek nadkładu i przerostów do grubości węgla – N:W (tab. 13). Przyjmuje się, że maksymalna głębokość spągu złoża nie powinna przekraczać 350 m. W przypadku polskich złóż węgla brunatnego miękkiego kryterium to jest spełnione prawie zawsze, poza najgłębszymi fragmentami złoża „Bełchatów” (patrz rozdz. 6.3.8). Z kolei minimalna miąższość pokładu węglowego powinna wynosić co najmniej 3 m. Niestety tylko niewielka część obszaru występowania węgla brunatnego na Niżu Polskim spełnia to kryterium (porównaj ryc. 18 i 21–23). Ostatnim parametrem geologiczno-górnicznym brany pod uwagę jest współczynnik liniowy N:W, tzn. stosunek łącznej grubości nadkładu i przerostów w węglu (poniżej 1,5 m) do jego grubości, który nie powinien przekraczać 12. Kryterium to najbardziej zmienia się z upływem czasu – współczynnik liniowy N:W wynosił między 2 a 10, obecnie równa się 12, ale niektóre złoża perspektywiczne są/były bilansowane przy założeniu, że $N:W = 20$ (Kasztelewicz 2004).

Tabela 13. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża i jego granice dla złóż węgla brunatnego (za: Rozporządzenie... 2015)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
maksymalna głębokość spągu złoża	m	350
minimalna miąższość węgla brunatnego w pokładzie	m	3
maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości pokładu (N:W)	–	12
minimalna średnia ważona wartość opałowa węgla brunatnego, przy wilgotności węgla 50%	MJ/kg	6,5

6.3.2. Parametry chemiczno-technologiczne

Wśród bardzo licznych parametrów chemiczno-technologicznych najważniejszym i formalnie podawanym jest wartość opałowa węgla (tab. 13, Rozporządzenie... 2015). Minimalna średnia ważona wartości opałowej węgla (wraz z przerostami) musi wynosić co najmniej 6,5 MJ/kg. Oblicza się ją dla węgla w stanie roboczym, przy wilgotności 50% wag. Kryterium to jest spełnione dla prawie wszystkich krajowych złóż węgla brunatnego, gdzie średnia wartość opałowa wynosi 7,5–10 MJ/kg. Nie należy jednak mylić wartości opałowej z ciepłem spalania węgla. Po prostu wartość opałową wyznacza się na podstawie ciepła spalania, od którego odejmuje się ciepło potrzebne do odparowania wody (Bartuś 2003).

W tym miejscu trzeba też wspomnieć o zawartości siarki w węglu, chociaż formalnie nie jest ona wymieniana w Rozporządzeniu... (2015, tab. 13). Całkowita zawartość siarki w węglu nie powinna przekraczać 2% wag., przy wilgotności 50% wag. Jest to niezwykle istotny parametr ze względu na technologię spalania, gdyż

siarka wpływa niekorzystnie na właściwości żużli i wchodzi w reakcje z urządzeniami kotłowymi – niszczy ruszty w piecach elektrowni. Z drugiej strony, lotne związki siarki, obok tlenków azotu, są niezwykle toksycznymi składnikami atmosfery – powodują kwaśne deszcze. Dlatego emisja związków siarki jeszcze ponad 15–20 lat temu tworzyła wokół dużych elektrowni ciepłych tzw. obszary śmierci biologicznej (Bartuś 2003). Większość złóż spełnia to kryterium, ale w ich obrębie występują partie, gdzie siarki w węglu jest wyraźnie powyżej 2% wag. W takiej sytuacji węgiel o mniejszym zasiarczeniu jest mieszany z węglem bardziej zasiarczonym (z tego samego lub różnych złóż), co sprawia, że średnia zawartość siarki w węglu dostarczany do elektrowni nie przekracza wzmiankowanych 2% wag.

6.3.3. Zasoby

Podstawowym zadaniem podczas wykonania dokumentacji geologicznych złóż, w tym złóż węgla brunatnego, jest określenie ich zasobów. Dlatego należy znać podstawową terminologię, która będzie używana w dalszej części tej monografii. Tak więc zasoby dzielą się na: prognostyczne, geologiczne, bilansowe, pozabilansowe, przemysłowe i operatywne:

- zasoby prognostyczne określa się na podstawie nielicznych danych (naturalne odsłonięcia, wyrobiska, wiercenia, geofizyka itd.), które umożliwiają wstępne rozpoznanie granic, rodzaju i jakości kopaliny oraz pozwalają na oszacowanie wielkości zasobów z błędem powyżej 40%;
- zasoby geologiczne obejmują łącznie zasoby bilansowe i pozabilansowe, czyli całkowitą ilość kopaliny w granicach złoza, która jest udokumentowana w odpowiednich kategoriach rozpoznania (patrz rozdz. 6.3.4, Rozporządzenie... 2015);
- zasoby bilansowe, to ta część zasobów geologicznych, która spełnia określone kryteria bilansowości (tab. 13);
- zasoby niebilansowe, pozostała część zasobów geologicznych, która nie spełnia kryteriów bilansowości;
- zasoby przemysłowe obejmują tę część zasobów bilansowych (czasami również niebilansowych), która ze względów technicznych i ekonomicznych może być wydobyta; zasoby przemysłowe muszą być uwzględnione w PZZ (tj. w projekcie zagospodarowania złoza), a także podlegają określonym przepisom prawa geologiczno-górniczego oraz ochrony środowiska;
- zasoby operatywne, to część zasobów przemysłowych, która w rzeczywistości zostanie wydobyta ze złoza; dla polskich złóż węgla brunatnego przyjmuje się, że średnio około 72% zasobów przemysłowych stanowią zasoby operatywne.

6.3.4. Kategorie rozpoznania

Kategorie rozpoznania złóż określa się już na etapie obliczania zasobów geologicznych, tj. bilansowych i niebilansowych. W rozporządzeniu odpowiedniego ministra wyróżnia się następujące kategorie rozpoznania: D, C2, C1, B i A (Rozporządzenie... 2015):

- w kategorii D określa się wstępnie budowę geologiczną i przewidywane zasoby na podstawie nielicznych danych, co sprawia, że szacowane parametry i zasoby złoża mogą być obciążone błędem przekraczającym 40%;
- w kategorii C2 w oparciu o bardziej szczegółową interpretację dostępnych danych, oprócz budowy geologicznej i przewidywanych zasobów, ustala się także warunki geologiczno-górniczne oraz jakość i przydatność kopaliny (na podstawie dostępnych próbek) dla określonych celów; w tym przypadku błąd oszacowanych parametrów i zasobów musi być mniejszy niż 40%;
- w kategorii C1 rozpoznanie złoża jest na tyle wystarczające, że można opracować PZZ złoża, uwzględniający wpływ przewidywanej eksploatacji na środowisko; na tym etapie rozpoznania błąd obliczeń (parametrów i zasobów złoża) nie powinien przekraczać 30%;
- kategoria B rozpoznania złoża oznacza, że poprzednio posiadane dane zostały uściśnione, np. poprzez dodatkowe badania terenowe (wyrobiska, wiercenia, geofizyka itd.) i laboratoryjne (analiza pobranych próbek w skali półtechnicznej lub przemysłowej); wymagane jest jednoznaczne określenie formy złoża, korelacji warstw, roli tektoniki i jakości kopaliny; stopień rozpoznania jest wystarczający dla opracowania PZZ złoża, przy błędzie obliczeń poniżej 20%;
- złożo rozpoznane w kategorii A jest gotowe do eksploatacji; część danych jest pozyskiwana także w czasie wydobywania, np. dodatkowe wiercenia, obserwacje, opróbowanie itd.; błąd wykonania wszelkich obliczeń nie może przekraczać 10% (Rozporządzenie... 2015).

6.3.5. Waloryzacja złóż niezagospodarowanych

Obecnie na obszarze Polski, oprócz wyeksploatowanych i będących w eksploatacji, występuje kilkadziesiąt złóż węgla brunatnego, które spełniają powyższe kryteria bilansowości i potencjalnie mogłyby być eksploatowane w przyszłości. Dlatego Kasiński i in. (2006) zaproponowali nową waloryzację i ranking niezagospodarowanych polskich złóż węgla brunatnego. Oprócz wyżej opisanych parametrów geologiczno-górnicznych i chemiczno-technologicznych zaproponowana metodologia uwzględnia aspekty ekonomiczne (opłacalność wydobywania), socjologiczne (zagrożenie wydobywania dla środowiska) i socjalne (poparcie społeczne dla działalności górniczej).

Najważniejsza jest oczywiście rynkowa wartość złoża, która decyduje o zainteresowaniu potencjalnego inwestora. Przy waloryzacji ekonomicznej złóż wzięto pod uwagę następujące parametry możliwe do określenia na każdym etapie ich rozpoznania: zasoby geologiczne, popielność, zawartość siarki, współczynnik liniowy N:W, głębokość spągu, warunki hydrogeologiczne i występowanie kopaliny towarzyszących. Pod względem wartości ekonomicznej najwyższej ocenione zostały złoża: „Legnica Zachód” – 21 pkt, „Szamotuły” i „Ścinawa” – po 20 pkt, „Krzywiń” i „Mosina” – po 19 pkt itd. (Kasiński i in. 2006).

Wpływ działalności górniczej na środowisko jest oczywisty i należy brać go pod uwagę. W tym przypadku, oprócz budowy infrastruktury zakładu górniczego, ingerencją w środowisko naturalne jest bez wątpienia budowa odkrywk i zwalowisk

zewnątrznych oraz odwodnienie złoza. Ponadto eksploatacja węgla i jego utylizacja wiąże się nierozdzielnie z zanieczyszczeniem powietrza i wód powierzchniowych oraz emisją hałasu. Największy konflikt ze środowiskiem wykazują przede wszystkim złoza wypełniające rowy poznańskie: „Mosina” – 18 pkt, „Naramowic” – 15 pkt, „Czempiń Miasto” – 14 pkt, „Krzywiń”, „Gostyń” i „Szamotuły” – po 13 pkt. Wynika to głównie z faktu, że złoza te obejmują część Wielkopolskiego Parku Narodowego (złoże „Mosina”) oraz tereny silnie zurbanizowane i grunty rolne o wysokiej klasie bonitacyjnej. Z kolei najmniejszy niekorzystny wpływ na środowisko z większych złóż wykazują: „Oczkowice” i „Mosty” – po 7 pkt (Kasiński i in. 2006).

Ocena socjalna zależy od wielu czynników, które wpływają na nastawienie lokalnej ludności do budowy kopalń i wydobywania węgla brunatnego na jej terenie. Najważniejsze z nich to: bezrobocie, plan zagospodarowania przestrzennego, możliwość gminy, uprzemysłowienie, urbanizacja, walory turystyczne i rolnictwo. W tej sytuacji można powiedzieć ogólnie, że pewna (raczej warunkowa i zmieniająca się) akceptacja dla rozwoju górnictwa węgla brunatnego jest w przypadku złóż okolic Konina oraz Gubina i Brodów (Naworyta 2010, Naworyta, Badera 2012). Natomiast bezwzględny sprzeciw jest w środkowej (złoza od Szamotuł po Gostyń) i południowo-zachodniej Wielkopolsce (złoże „Oczkowice”) – od –11 do –33 pkt (Kasiński i in. 2006).

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione czynniki ekonomiczne, sozologiczne i socjalne, wskazano, które z niezagospodarowanych złóż węgla brunatnego są najkorzystniejsze do przyszłej eksploatacji (tab. 14). Po prostu spośród złóż znajdujących się najwyżej w rankingu ekonomicznym wykreślono te, które znajdowały się najniżej w rankingu sozologicznym i socjalnym. Dlatego w nowym zestawieniu nie zawsze pozostały złoza największe. Niemniej jednak ich ewentualna eksploatacja miałaby względnie najmniej niekorzystny wpływ na środowisko

Tabela 14. Zestawienie polskich złóż węgla brunatnego najkorzystniejszych do przyszłego zagospodarowania (za: Kasiński i in. 2006)

Lp.	Nazwa złoza	Zasoby bilansowe [mln ton]	Średnia grubość pokładu węgla [m]	Współczynnik liniowy N:W (nadkład:węgiel)
1	„Gubin”	1050,8	20,0	5,3
2	„Rogóźno”	772,8	35,6	6,5
3	„Radomierzyce”	503,7	18,0	4,3
4	„Gubin–Brody”	1934,3	18,8	7,2
5	„Legnica Zachód”	863,6	21,0	6,6
6	„Złoczew”	485,6	46,2	4,5
7	„Rzepin”	249,5	12,2	7,9
8	„Nakło”	254,1	19,5	6,6
9	„Trzcianka”	610,2	4,6	9,0
10	„Legnica Wschód”	839,3	18,1	7,6
11	„Piaski”	103,6	6,1	7,3
12	„Szamotuły”	829,4	21,6	7,2

oraz mogłaby nie wzbudzać dużego sprzeciwu społecznego. Podjęcie wydobycia węgla wiązałoby się w niektórych przypadkach z budową nowych kompleksów górniczo-energetycznych funkcjonujących np. na złożach gubińskich i legnickich. Natomiast złoża „Rogóżno”, „Złoczew”, „Radomierzyce” i „Piaski” mogłyby być zagospodarowane przez funkcjonujące w pobliżu kopalnie Bełchatów, Turów i Konin (porównaj tab. 14 i ryc. 18).

6.4. Budowa geologiczna wybranych złóż

6.4.1. „Sieniawa”

Obszar złoża „Sieniawa” zlokalizowany jest w zachodniej Polsce (ryc. 18), na Pojezierzu Łagowskim, w okolicy Łagowa Lubuskiego. Geomorfologicznie należy do Wzgórz Osieńsko-Sulechowskich, które są spiętrzonymi morenami czołowymi. Natomiast pod względem geologicznym jest to południowo-zachodnia część segmentu szczecińsko-gorzowskiego, będącego fragmentem synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Strop mezozoiku w okolicy Sieniawy zbudowany jest ze skał górnej kredy, wśród których dominują margle, a podrzędnie występują wapienie, iłowce i piaskowce. Skały te zalegają średnio na rzędnych od 180 do 160 m p.p.m., z możliwym występowaniem struktur zrębowych (Studencki 2000). Następnie są osady paleogeńskie, które tworzą ciągłą warstwę o miąższości 40–80 m. W najniższej części są to muły, często węgliste z cienkimi soczewkami węgla brunatnego, czyli osady lądowe. Można je korelować z dolnooligocенską formacją czempińską w innych częściach Niżu Polskiego. Powyżej spoczywają morskie piaski glaukonitowe zaliczane do formacji mosińskiej górnej – dolny oligocen (ryc. 24).

W otoczeniu złoża „Sieniawa” maksymalna miąższość neogenu przekracza 300 m, ale ze względu

Litostratygrafia dla N części obszaru Ziemi Lubuskiej	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwir, muły)	środkowy dolny m i o c e n
seria Mużakowa		form. naramowicka	
pokład luzycycki		formacja pawłowska	
seria śląsko-luzycycka		formacja ścinawska	
seria żarska		og. żarskie formacja rawicka	
seria lubuska		formacja mosińska górna form. czempińska	dolny
mezozoik		kreda górna (margle, wapienie, iłowce)	oligocen

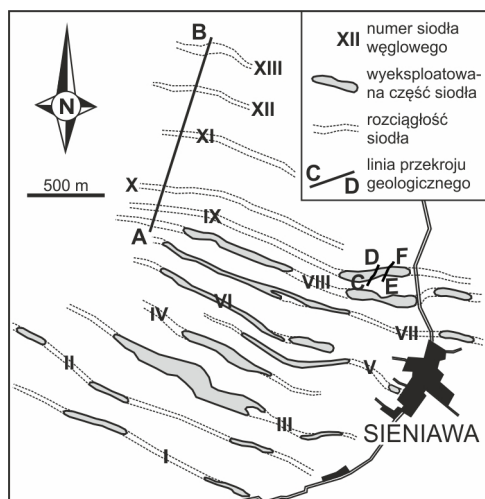
	osady mezozoiczne		piasek		żwir
	osady czwartorzędowe		muł		ił
	węgiel brunatny		nr pokładu węglowego		

Ryc. 24. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złoża „Sieniawa” (za: Djor 1978, Studencki 2000, zmienione)

Numeracja pokładów węglowych na ryc. 19, 20

na deformacje glacictektoniczne szacowanie grubości poszczególnych wydziałów litostratygraficznych jest bardzo trudne. Miąższości osadów między sąsiednimi otworami różnią się często od kilku do kilkunastu razy (Studencki 2000, Kozula 2002). Niemniej jednak w spągu neogenu przeważają osady piaszczyste z przewarstwieniami żwirów i mułów, które są wyróżniane jako formacja rawicka, dawniej zaliczana do serii żarskiej (ryc. 24, Dyjor 1978). Wyżej w profilu, oddzielone wyraźną powierzchnią erozyjną (warstwa żwirów), występują osady najbardziej węglonośnej jednostki litostratygraficznej na Niżu Polskim, tj. formacji ścinawskiej – seria śląsko-łużycka. W górę profilu frakcja osadu drobniej, pojawiają się muły z soczewkami węgla należące do 3. ścinawskiego pokładu oraz z 2. łużyckim pokładem węgla brunatnego w stropie. Ten ostatni jest przedmiotem eksploatacji w KWB Sieniawa. Pokład ten przykryty jest mułami węglistymi, piaskami i lokalnie iłami oraz cienkimi soczewkami węgla brunatnego. Najprawdopodobniej na tym obszarze brakuje stropowych warstw serii Mużakowa (formacji naramowickiej) oraz 1. środkowopolskiego pokładu i młodszych osadów neogeńskich, należących do formacji poznańskiej (porównaj ryc. 20 i 24). Neogen przykryty jest nieciągłą warstwą osadów czwartorzędowych, głównie plejstoceńskich, o miąższości od 0 do ponad 280 m w miejscach występowania rynien subglacialnych (Studencki 2000, Winnicki 2004).

Budowa geologiczna otoczenia złoża „Sieniawa” jest bardzo skomplikowana, na co wskazuje występowanie równoległe ułożonych wychodni osadów neogeńskich, w tym węgla brunatnego (ryc. 25). Tworzą one antykliny, tzw. siodła, gdzie w strefach osiowych wysoko wyniesione są warstwy węgla brunatnego. Z jed-

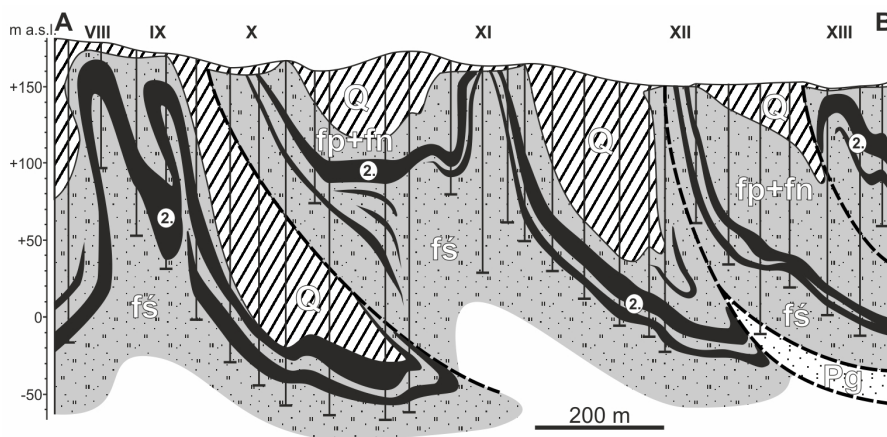


Ryc. 25. Siodła węglowe w okolicy Sieniawy (opracowanie własne na podstawie materiałów KWB Sieniawa)

Przekroje geologiczne A–B, C–D i E–F pokazane na ryc. 26, 27

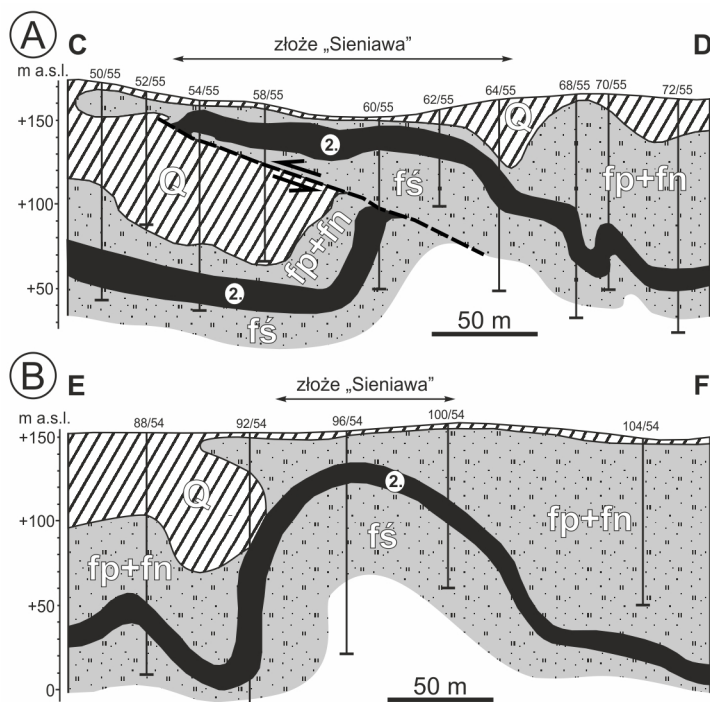
nej strony, zaburzenie pierwotnego układu warstw umożliwiło łatwy dostęp do węgla i jego eksploatację powyżej zwierciadła wód gruntowych. Natomiast z drugiej strony, pozorna grubość warstw węglowych stromo zalegających sięga nawet kilkudziesięciu metrów (ryc. 26).

Bardziej szczegółowe przekroje geologiczne potwierdzają złożoną budowę sioła węglowych eksploatowanych przez KWB Sieniawa (ryc. 27). Z danych otworowych wyinterpretowano, że złożo „Sieniawa” zbudowane jest zarówno z nasunięć, jak i z fałdów. W pierwszym przypadku jest to „wyprasowane” skrzydło brzuszne fałdu w postaci nasunięcia (uskok odwrócony), czyli łuska glacictektoniczna (ryc. 27A). W drugim przypadku, oddalonym



Ryc. 26. Przekrój geologiczny ukazujący seryjność zaburzeń glaciektonicznych w okolicy Sieniawy (za: Winnicki 2004)

Lokalizacja przekroju A–B na ryc. 25, objaśnienia jak na ryc. 24

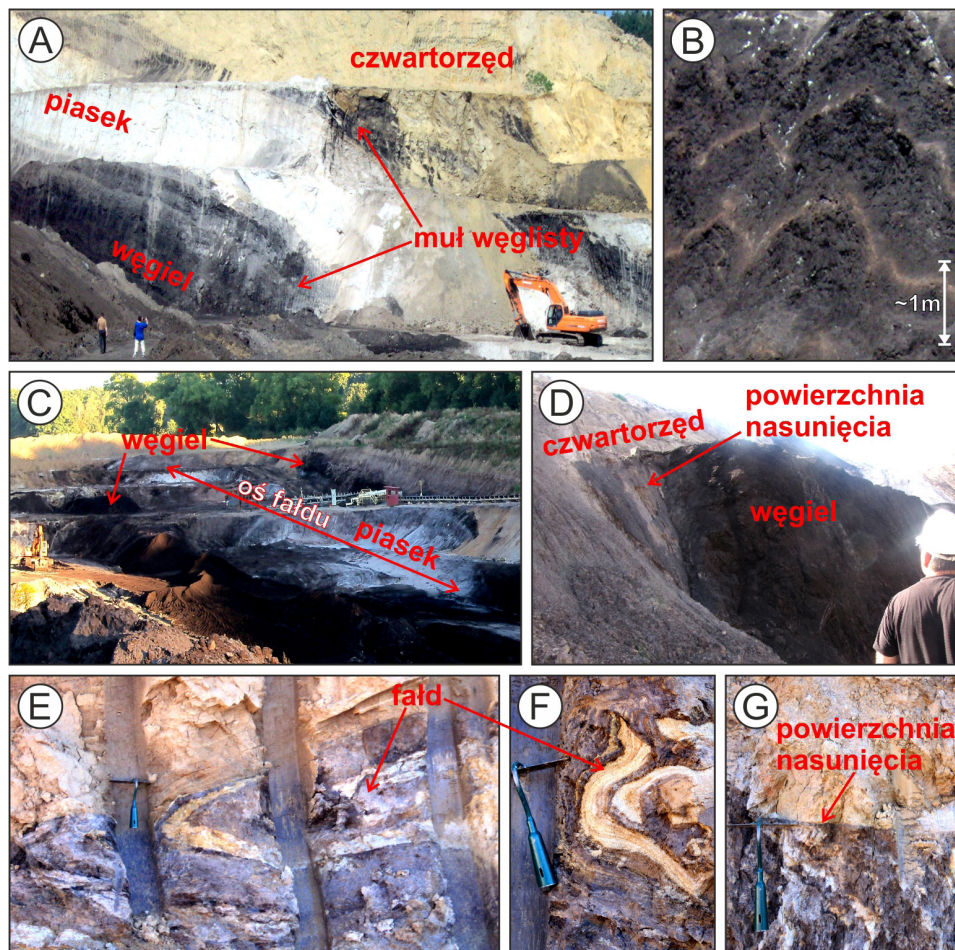


Ryc. 27. Przekroje geologiczne przez siodło IX przedstawiające deformacje nieciągłe i ciągłe eksploatowanego pokładu węglowego (opracowanie własne na podstawie materiałów KWB Sieniawa)

A – łuska glaciektoniczna; B – stojący, symetryczny fałd glaciektoniczny; lokalizacja przekrojów C–D i E–F na ryc. 25, objaśnienia jak na ryc. 24

o kilkadziesiąt metrów, ciągłość pokładu węglowego jest zachowana – fałd glaci-tektoniczny (ryc. 27B).

Wydobycie węgla w okolicy Sieniawy umożliwia weryfikację budowy geologicznej wyinterpretowanej na przekrojach geologicznych (ryc. 26, 27). Zarówno fałdowa, jak i łuskowa budowa siodła węglowych w pełni została potwierdzona w odkrywkach kopalnianych. Fałdy i nasunięcia, wywołane przez lądolody skandynawskie w plejstocenie, obejmują osady neogeńskie (ryc. 28A–D) i czwartorzędowe (28E–G). W złożu „Sieniawa” („Sieniawa 1” i „Sieniawa 2”) oraz w jego otoczeniu stwierdzono łącznie 27–35 siodła węglowych dzięki danym wiertniczym



Ryc. 28. Przykłady deformacji glaci-tektonicznych z odkrywek KWB Sieniawa (fot. M. Wiedera)

A, B – fałd stojący z silnie zaburzoną strukturą wewnętrzną – fałdy dyscharmonijne (siodło IX, 2010 rok); C, D – fałd pochylony i powierzchnia nasunięcia (siodło VIII, 2015 rok); E–G – fałdy leżące i pozioma powierzchnia nasunięcia w osadach czwartorzędowych (siodło VIII, 2015 rok)

(Kozula 2002, Winnicki 2004). Reprezentują one makroskalowe, różnego typu fałdy i nasunięcia, które zostały zaznaczone m.in. na wyżej przedstawionych przekrojach geologicznych i częściowo udokumentowane także w terenie. W ostatnim przypadku, tj. w odkrywkach KWB Sieniawa, można bezpośrednio zaobserwować również inne deformacje mezoskalowe, takie jak: fałdy stojące, pochylone i leżące, uskoki normalne i odwrócone, spękania komplementarne, struktury iniekcyjne i powierzchnie nasunięć itd. Na podstawie rozciągłości makrodeformacji (fałdów i łusek) obliczono uśredniony kierunek kompresji glacictektonicznej, odpowiedzialnej za powstanie omawianych zaburzeń glacictektonicznych, w tym pokładów węgla brunatnego. Okazało się, że lądolody skandynawskie nasuwały się na obszar KWB Sieniawa w kierunku SSW, a dokładniej na azymut 203° (Kot, Widera 2018).

Dzięki glacictektonicznemu wyniesieniu węgla brunatnego blisko powierzchni terenu był on łatwo dostępny w okolicy Sieniawy. Dlatego już w 1873 roku rozpoczęto jego eksploatację na skalę przemysłową. Do II wojny światowej wydobycie węgla sięgało nawet 80 tys. ton rocznie. Pod koniec tej wojny kopalnia została bardzo zdewastowana, stąd jej ponowne uruchomienie nastąpiło dopiero w 1950 roku. Cały czas eksploatację prowadzono metodą podziemną (patrz ryc. 2C, D). Węgiel urabiany był systemem filarowym, z warstw zalegających powyżej pierwszego poziomu wód podziemnych. Natomiast w 1979 roku rozpoczęto też wydobycie węgla metodą odkrywkową. W 1983 roku całkowita produkcja węgla w KWB Sieniawa osiągnęła 209,1 tys. ton, co przez długie lata stanowiło wielkość rekordową. W 1997 roku zaprzestano wydobycia głębinowego (jako ostatnia kopalnia węgla brunatnego w Polsce) i rozpoczęto likwidację tego przedsiębiorstwa górniczego (Zdanowicz 2010).

W 2002 roku kopalnia przeszła proces prywatyzacji i jako KWB Sieniawa sp. z o.o. funkcjonuje do dziś. Średnioroczna eksploatacja węgla, wyłącznie w odkrywkach (ryc. 28), wynosi 100–150 tys. ton, przy zatrudnieniu tylko kilkudziesięciu osób. Jednak w 2019 roku kopalnia ustanowiła nowy rekord wydobycia wynoszący 296 tys. ton (tab. 11), co wiązało się z zakupem znacznych ilości węgla przez KWB Konin. Należy dodać, że eksploatowany w KWB Sieniawa 2. łuzycycki pokład węgla charakteryzuje się dobrymi parametrami chemiczno-technologicznymi

Tabela 15. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnich węgla brunatnego ze złoża „Sieniawa” – siodła VIII i IX (za: Kozula 2002)

Siodło	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
VIII	wartość opałowa (Q_i^f)	MJ/kg	9,3
	popielność (A^d)	%	16,7
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,2
	N:W	–	5,4:1
IX	wartość opałowa (Q_i^f)	MJ/kg	8,7
	popielność (A^d)	%	18,4
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,3
	N:W	–	3,5

(tab. 15). Dlatego jest on wykorzystywany przez okoliczne firmy i odbiorców indywidualnych jako paliwo do nowoczesnych pieców, ogrzewających osiedla mieszkaniowe, szkoły, zakłady przemysłowe i domy jednorodzinne. Poza tym KWB Sieniawa sprzedaje uszlachetniony, workowany węgiel, tzw. „karbopal plus”, o wartości opałowej 15 MJ/kg i popielności 11% wag., oraz kwasy huminowe. Obecnie (2021 rok) prace górnicze prowadzone są na siodle X. Na koniec trzeba dodać, że ta najmniejsza kopalnia w Polsce ma koncesję na eksploatację węgla brunatnego z siodeł X–XVI (złoże „Sieniawa 2”) aż do 2063 roku.

6.4.2. „Turów”

Złoże „Turów” znajduje się koło Bogatyni, obejmując najbardziej południowo-zachodnią część kraju, tzw. Worek Turoszowski, gdzie schodzą się granice państwowe Polski, Niemiec i Czech (ryc. 18). Pod względem geomorfologicznym jest to część Kotliny Żytawskiej (Obniżenie Żytawsko-Zgorzeleckie), a pod względem geologicznym należy do niecki żytawskiej, stanowiącej obniżenie tektoniczne w obrębie masywu łużyckiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Podłoże podkenozoiczne zbudowane jest z prekambryjskich (kadmokskich, ponad 530 mln lat) granitoidów, w które we wczesnym paleozoiku (kambr/ordowik, ponad 490 mln lat) intrudowały granity izerskie, będące odpowiednikiem tzw. granitów rumburskich (Żelaźniewicz i in. 2011). W najgłębszej, polskiej części niecki żytawskiej prekambr zalega maksymalnie na rzędnych poniżej 80 m p.p.m. Jest on silnie zuskokowany, tworząc kenozoiczny rów tektoniczny, nazywany rymem Ohrzy lub rowem Egeru. Wzdłuż uskoku dochodziło (oligocen/miocen) do przemieszczania się i wylewania wulkanitów (trachity, fonolity, bazalty), które stwierdzono w spągowych partiach profili wielu otworów wiernicznych (Ciuk i in. 1992, Kasiński 2000).









Na skałach prekambryjskich, ale też na kenozoicznych skałach wulkanicznych, zalegają ich zwietrzeliny o miąższości dochodzącej lokalnie do 80 m. Są to skały ilaste z kaolinitem i kwarcem (często niebieskim z granitów rumburskich) jako głównymi składnikami mineralnymi (Siata 2003). Zasadniczą część profilu obejmuje tzw. paleogeńsko-neogeńska sukcesja osadowa, o łącznej maksymalnej grubości ponad 340 m. W jej obrębie wyróżnia się 6 sekwencji osadowych, reprezentujących 6 różnych formacji litostratygraficznych (ryc. 29).

Kolejne sekwencje tworzą cykle sedymentacyjne, które rozpoczynają się osadami żwirowo-piaszczystymi, przechodząc w górę profilu w osady piaszczysto-ilaste, a w stropie najczęściej występują węgle brunatne. Taka pełna cykliczność zachodzi w przypadku sekwencji I–IV, natomiast sekwencje V i VI kończą się wyraźnymi powierzchniami erozyjnymi, a nie warstwami węglowymi (ryc. 29). Poszczególne sekwencje wykazują duże zróżnicowanie litologiczne i miąższościowe. Z punktu widzenia geologii złożowej największe znaczenie mają stropowe warstwy sekwencji II i IV, które obejmują pokłady węgla brunatnego (3. ścinawski i 2. łużycki) obecnie eksploatowane przez KWB Turów. Warto zauważyć, że 2. łużycki pokład rozszczepia się na dwie ławy węglowe, stanowiące na przeważającym obszarze złoża „Turów” odrębne pokłady. Dlatego w dokumentacjach

geologicznych, zgodnie ze starymi wydzieleniami niemieckich geologów, wyróżnia się 3 pokłady węgla. Tradycyjna górnicza numeracja pokładów jest odwrotna niż obecnie stosowana w literaturze geologicznej (patrz ryc. 19, 20), tzn. pokład dolny (pierwszy) jest najstarszy, pokład drugi odpowiada dolnej ławie pokładu górnego (drugiego), a pokład trzeci to górna ława tego samego pokładu, czyli górnego (Siata 2003).

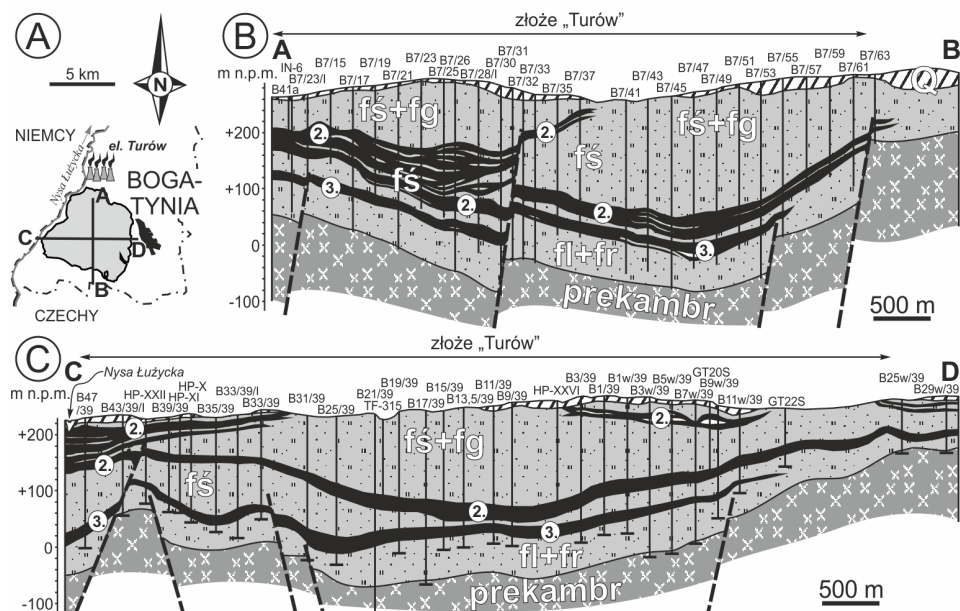
Dla polskiej części niecki żytańskiej zaproponowano lokalny podział litostratygraficzny, który można odnieść do litostratygrafii stosowanej na Niżu Polskim. Warstwy najbardziej węglonośne wyróżniono jako formacje opolneńską i biedzychowicką (Kasiński i in. 2010), które odpowiadają niższej i wyższej części formacji ścinawskiej z dwoma głównymi pokładami węgla brunatnego, tj. 3. ścinawskim i 2. łużyckim (ryc. 29). Profil osadów neogeńskich kończą osady formacji gozdnickiej, których brak poza obszarem Dolnego Śląska i południowych terenów Ziemi Lubuskiej (Dyjur 1978). Neogen przykryty jest nieciągłą warstwą osadów plejstocenijskich i holocenijskich o łącznej miąższości do kilkunastu metrów. Osady plejstocenijskie reprezentują piaski wodnolodowcowe i gliny lodowcowe z okresu zlodowaceń południowopolskich. Z kolei holocen, w postaci piasków, namulów i sporadycznie torfów, występuje wzdłuż naturalnych cieków, głównie w dolinie Nysy Łużyckiej (Kasiński 2000, Siata 2003).

Budowa geologiczna obszaru złoża „Turów” jest skomplikowana przez tektonikę zarówno syn-, jak i postsedymentacyjną. Przejawia się to w zuskokowaniu podłoża prekambryjskiego wzdłuż uskoków o zrzutach przekraczających niekiedy nawet 100 m, ale też w zafałdowaniu i zuskokowaniu warstw węgla (ryc. 30). Procesy tektoniczne szczególnie dotknęły dolny (3. ścinawski) pokład węglowy o średniej miąższości 15–20, a maksymalnej 35,3 m w otworze B23/45 (Siata 2003). Przejawia się to w wielu miejscach w przerwaniu jego ciągłości wzdłuż uskoków o zrzutach przekraczających grubość węgla nawet kilkakrotnie, np. między otworami B7/30 i B7/31 (ryc. 30B) oraz B47/39, B43/39/I i HP-XXII (ryc. 30C). Natomiast w przypadku dolnej ławy górnego (2. łużyckiego) pokładu, o maksymalnej miąższości sięgającej 42,6 m w centralnej części złoża, zrzuty są

Litostratygrafia dla obszaru niecki żytańskiej	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry, muły)	
formacja gozdnicka VI		formacja gozdnicka	górny miocen - dolny czwartorzęd
formacja rybarzowicka V		formacja ścinawska	środkowy dolny m i o c e n
formacja biedzychowicka IV			
formacja porajowska III			
formacja opolneńska II		formacja rawicka	
formacja turowszowska I		formacja leszczyńska	oligocen dolny
prekambry		granitoidy kadomskie, granity izerskie (rumburskie)	

Ryc. 29. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złoża „Turów” (za: Kasiński 2000, Kasiński i in. 2010, zmienione)

I–VI – numer sekwencji osadowej, inne objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

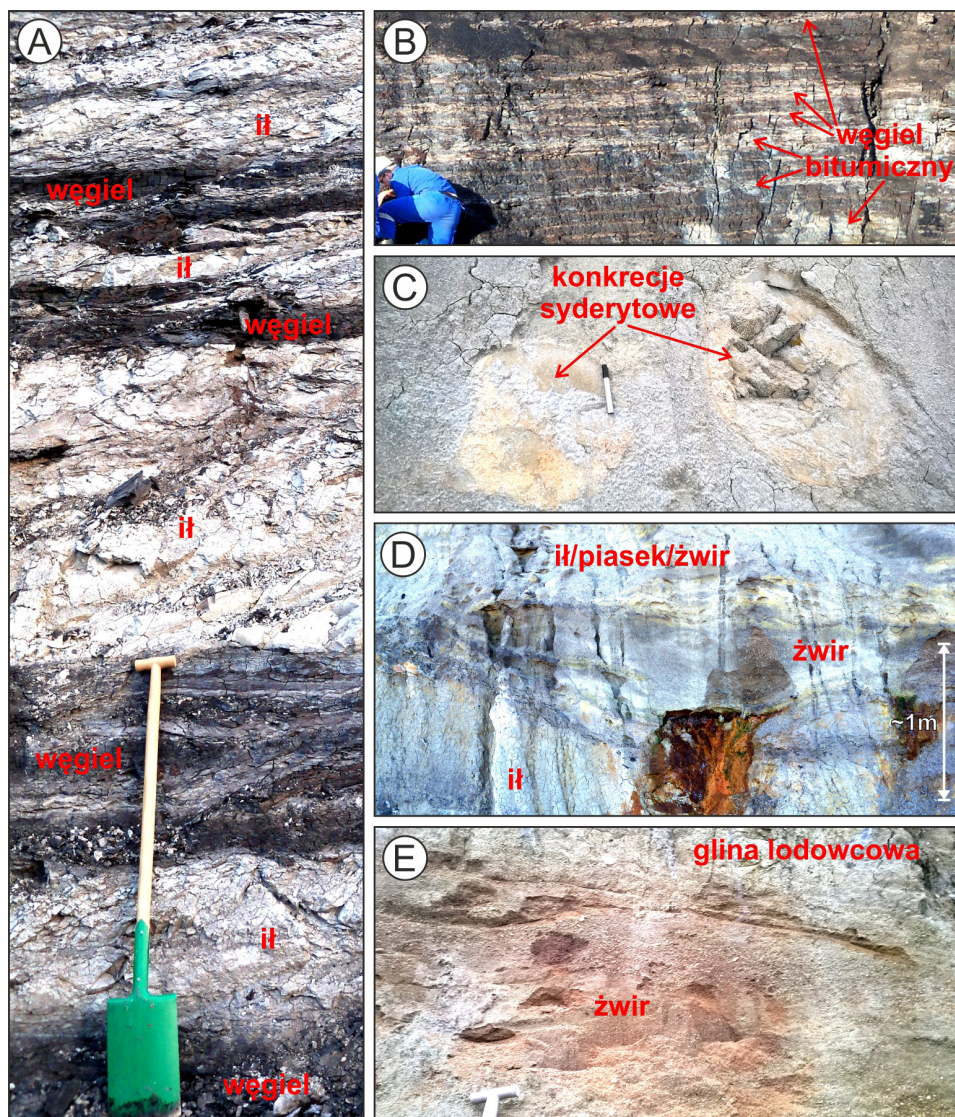


Ryc. 30. Przekroje geologiczne przez złoże węgla brunatnego „Turów” (opracowanie własne)
Lokalizacja przekrojów A–B i C–D na ryc. 30A, objaśnienia jak na ryc. 24, 29

zasadniczo mniejsze. Wyjątek stanowią te partie złoza, gdzie pokład górny rozszczepia się na ławy węglowe, np. w otoczeniu otworów B7/32 i B7/33 (ryc. 30B). W zachodniej, północnej i północno-zachodniej części złoza obie ławy 2. łuzyckiego pokładu (pokłady drugi i trzeci w terminologii górniczej) łączą się, osiągając maksymalną grubość 66,9 m w otworze B39/30 (Siata 2003). Patrząc na przekroje geologiczne, można wysnuć ogólny wniosek, że pokłady węglowe w złożu „Turów” swoim kształtem nawiązują generalnie do ukształtowania powierzchni podkenozoicznej, tj. stropu prekambriu (ryc. 30B, C).

Dzięki odkrywkowemu wydobyciu węgla brunatnego ze złoza „Turów” możliwa jest bezpośrednia obserwacja osadów i ich deformacji w terenie. Okazuje się, że zróżnicowanie litologiczne osadów kenozoicznych jest dużo większe, niż wynikało to z danych otworowych. Dlatego mieszaninę ilów, piasków i żwirów na omawianych wyżej przekrojach zaznaczono jako muły (ryc. 30B, C). Należy jednak pamiętać, że jest to „przekładaniec” warstw, lamin, soczew wymienionych typów skał klastycznych. Podobnie wyglądają deformacje osadów, w tym pokładów węgla brunatnego, które są dużo liczniejsze i bardziej urozmaicone morfologicznie niż te, które wykreślono na przekrojach geologicznych (ryc. 30B, C). Poza tym dość nieoczekiwanie stwierdzono też bardzo dobrze wykształcone zaburzenia głacictoniczne stropowych warstw neogenu i czwartorzędu w południowej części złoza.

W najniższej części odkrywki, poniżej pokładu 3. ścinawskiego (pierwszego, dolnego w nomenklaturze górniczej), odsłaniają się ropy jeziorne i węgiel brunatny (ryc. 31A). Pokrój warstw jest taflowy, a miąższość ilów zwiększa się ku centrum



Ryc. 31. Przykłady najbardziej charakterystycznych osadów odsłaniających się w odkrywcę Turów (KWB Turów, 2014 rok, fot. M. Widera)

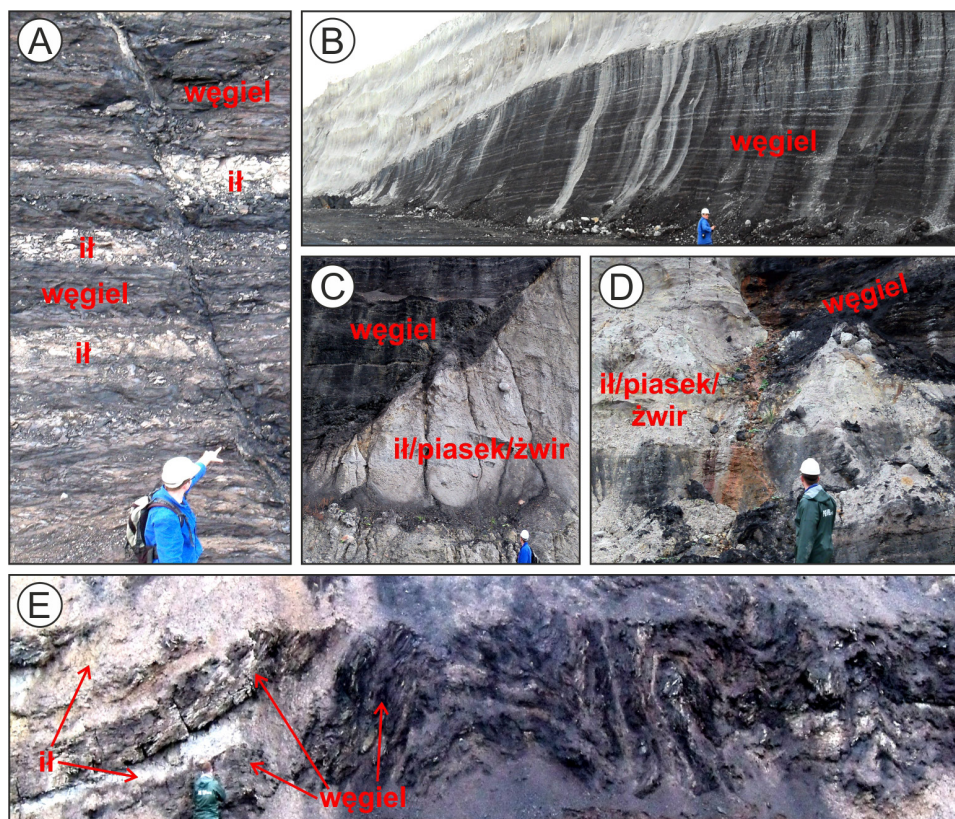
A – iły przewarstwione węglami brunatnymi; B – tafłowy pokrój warstw węglowych z jasnymi warstwami węgla bitumicznego; C – konkrecje syderytowe w osadach klastycznych; D – „enigmatyczne” ilasto-piaszczysto-żwirowe osady klastyczne; E – żwirowe osady formacji gozdnickiej z gliną lodowcową w stropie

basenu sedymentacyjnego, tj. niecki żytawskiej. Osady te na dystansie kilkuset metrów przechodzą facjalnie w węgiel 3. ścinawskiego pokładu, w którym poziome warstwowanie podkreślone jest występowaniem węgla bitumicznego (ryc. 31B). O ile wyżej opisane iły ukształtowały się w głębszych partiach jeziora, o tyle

węgiel bitumiczny powstał w jego płytszej strefie (Wagner 1996). Natomiast na-przemienne występowanie węgla i ilów oraz różnych litotypów węgla brunatnego dowodzi wahań poziomu wody w jeziorze, które występowało w sąsiedztwie tor-fowiska (Kasiński 1984, 2000). Charakterystyczna dla obszaru złoza „Turów” jest obecność konkrecji syderytowych o wielkości przekraczającej 70 cm (ryc. 31C). Występują one głównie wśród osadów klastycznych między 3. ścinawskim a 2. łużyckim pokładem węglowym, zaś ich powstanie wiąże się z procesami diagene-tycznymi (Ciuk i in. 1992). Wzmiankowane osady klastyczne są mieszaniną ilu, piasku i żwiru, niekiedy tylko o pokroju warstwowym lub soczewkowym (ryc. 31D). Często tworzą one silnie zlitfikowane tzw. żwirowce ilaste, które wraz z konkrecjami syderytowymi należą do utworów najbardziej trudnourabialnych w KWB Turów, prowadząc do uszkodzeń czepaków koparek kołowych (Wocka, Kaczarewski 2014). Należy dodać, że geneza omawianych skał klastycznych jest „enigmatyczna” i nie została dotychczas jednoznacznie wyjaśniona. Niemniej jed-nak najbardziej prawdopodobne wydaje się łączenie ich powstania z procesami sedymentacyjnymi zachodzącymi na stożkach aluwialnych, które otaczały śród-górskie zapadlisko tektoniczne – niekę żytawską (Ciuk i in. 1992, Kasiński 2000). W stropie neogenu zalegają osady rzeczne formacji gozdnickiej, które wykształco-ne są w postaci żwirów i żwirów piaszczystych, z wielkoskalowymi warstwowa-niami rynnowymi (ryc. 31E). Ich odpowiedniki litostratygraficzne (drobne żwiry, żwiry piaszczyste, piaski żwirowe) występują też w nadkładzie wielu złóż węgla brunatnego na Dolnym Śląsku i Ziemi Lubuskiej (Dyjur 1970, 1978). Profil keno-zoiku kończą plejstoceńskie gliny lodowcowe, silnie piaszczyste (ryc. 31E).

Deformacje osadów kenozoicznych, przede wszystkim tektoniczne, bardzo utrudniają eksploatację węgla ze złoza „Turów” i mają duży wpływ na prowadze-nie robót górniczych (ryc. 32A–D). Dlatego są one na bieżąco dokumentowane przez odpowiednie służby kopalniane. Dotychczas stwierdzono kilkaset uskoków w odkrywcę – w 2007 roku ich liczba sięgała blisko 400 (Kaczarewski i in. 2007). W tym miejscu należy podkreślić, że nie tylko uskoki, ale także wielkopromienne fałdy pokładów węglowych utrudniają pracę kopalni. Po prostu ten sam pokład „pojawia się i znika” zarówno na tym samym, jak i na kilku poziomach eksploata-cyjnych (ryc. 32B). W najwyższych partiach osadów neogeńskich występują liczne, bardzo czytelnie wykształcone deformacje glacitektoniczne. W terenie można zaobserwować fałdy o różnej geometrii, w tym fałdy asymetryczne, pochylone (patrz okładka, dolna fotografia) i fałdy stojące, dysharmonijne (ryc. 32E). Ich wewnętrzna struktura podkreślona jest naprzemianległym występowaniem czar-nych warstw węglowych (2. łużycki pokład, górna ława) i białych lub jasnożół-tych warstw ilastych. Obecność tak dobrze wykształconych deformacji glacitek-tonicznych w nadkładzie złoza „Turów” jest dość zaskakująca. Wynika to z faktu, że omawiany obszar znajdował się w pobliżu najdalejzego zasięgu zlodowaceń południowopolskich w Sudetach Zachodnich, gdzie grubość łądolodów skandy-nawskich była względnie mała (Lindner 1992).

Skutkiem procesów tektonicznych i glacitektonicznych jest płytkie zaleganie węgla brunatnego, zwłaszcza w dolinie Nysy Łużyckiej. Prawdopodobnie w efekcie wyładowań atmosferycznych, jak wynika z zapisów kronikarskich, w 1642



Ryc. 32. Przykłady deformacji tektonicznych i glacitektonicznych z odkrywki Turów (KWB Turów, 2014 rok, fot. M. Widera)
 A – uskoki normalny w osadach podwęglowych; B – zafałdowany 3. ścinawski (dolny, pierwszy) pokład węglowy; C, D – kontakt wzdłuż powierzchni uskokowej między dolną i górną ławą 2. łużyckiego (górnego, drugiego i trzeciego) a międzywęglowymi osadami klastycznymi; E – fałdy dysharmonijne w stropowych warstwach osadów neogeńskich

roku doszło na tym terenie do pożaru wychodni węgla. Niespełna 100 lat później (1740 rok) odnotowano pierwsze próby jego powierzchniowego wydobycia w sposób nieregularny w okolicy Turosszowa – blisko miejsca, gdzie obecnie znajduje się elektrownia Turów. Jednak w sposób zorganizowany eksploatację węgla rozpoczęto w pobliskim Zatoniu w 1780 roku. Uważa się, że była to pierwsza kopalnia głębinowa tej kopaliny na obecnych ziemiach polskich (Ciuk 1991). Przez następne ponad 120 lat w niecce żytańskiej funkcjonowało ponad 100 niewielkich wyrobisk podziemnych i odkrywkowych. W 1904 roku połączono je wszystkie w jedną dużą kopalnię Herkules – od tego czasu wydobycie węgla odbywa się na skalę przemysłową wyłącznie odkrywkowo. W 1908 roku zbudowano w Hirschfelde (lewy brzeg Nysy Łużyckiej) brykietownię, a w 1911 roku elektrownię. Przed II wojną światową oraz przez kilkanaście powojennych lat średnioroczne wydobycie węgla ze złoża „Turów” wynosiło 4–6 mln ton. W 1962 roku, kiedy

oddano do użytku pierwszy blok elektrowni Turów, wyprodukowano 6,6 mln ton węgla. W następnych latach eksploatacja rosła w szybkim tempie, osiągając rekordowe ponad 25 mln ton w 1977 roku (Kasztelewicz 2004). Potem wydobywanie zaczęło stopniowo spadać. Dla zainteresowanych można dodać, że do 1985 roku KWB Turów była liderem w wielkości wydobycia w powojennej historii górnictwa węgla brunatnego w Polsce. W 1986 roku na pierwsze miejsce wysunęła się KWB Bełchatów, prowadzenia nie oddała do dziś i prawdopodobnie nie odda w najbliższych co najmniej kilkunastu latach.

W 2000 roku KWB Turów została skomercjalizowana, w wyniku czego stała się jednoosobową spółką Skarbu Państwa. W tym czasie wydobywanie oscylowało wokół 10 mln ton węgla, by w następnych latach stopniowo spadać do 5,0 mln ton w 2019 roku (tab. 11). Węgiel ze złoza „Turów” cechuje się dobrymi parametrami chemiczno-technologicznymi, przy czym im starszy (głębiej zalegający) pokład, tym wyższa jego wartość opałowa (tab. 16). Ponad 99% wydobytego węgla brunatnego jest wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej w pobliskiej elektrowni Turów. Jedną z głównych przyczyn zmniejszania wydobycia węgla jest modernizacja starych oraz budowa nowych bloków energetycznych o wysokiej sprawności. Należy dodać, że KWB Turów ma aktualną koncesję na eksploatację węgla brunatnego ze złoza „Turów” do 2026 roku.

Tabela 16. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych dla pokładów węgla brunatnego ze złoza „Turów” (za: Siata 2003)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
3. ścinawski (dolny, pierwszy)	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	9,7
	popielność (A^d)	%	20,7
	zawartość siarki (S_i^d)	%	0,5
	N:W	–	2,1
2. łużycki (górnny, dolna ława, drugi)	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	9,5
	popielność (A^d)	%	21,6
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,38
	N:W	–	2,6
2. łużycki (górnny, górna ława, trzeci)	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	9,1
	popielność (A^d)	%	25,9
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,2
	N:W	–	–

6.4.3. „Gubin”, „Gubin–Zasieki–Brody” i „Mosty”

Wymienione tzw. złoza gubińskie znajdują się na prawym brzegu Nysy Łużyckiej i rozciągają na południe od Gubina na dystansie od kilku do 60 km. Są one zlokalizowane na przedpolu Wzgórz Gubińskich i Łuku Mużakowa, będących spiętrzonymi morenami czołowymi (Gontaszewska-Piekarz 2017). Są to południowe rejony Ziemi Lubuskiej (Dolne Łużyce), które geologicznie należą w dominującej części do monokliny przedsudeckiej, natomiast najbardziej

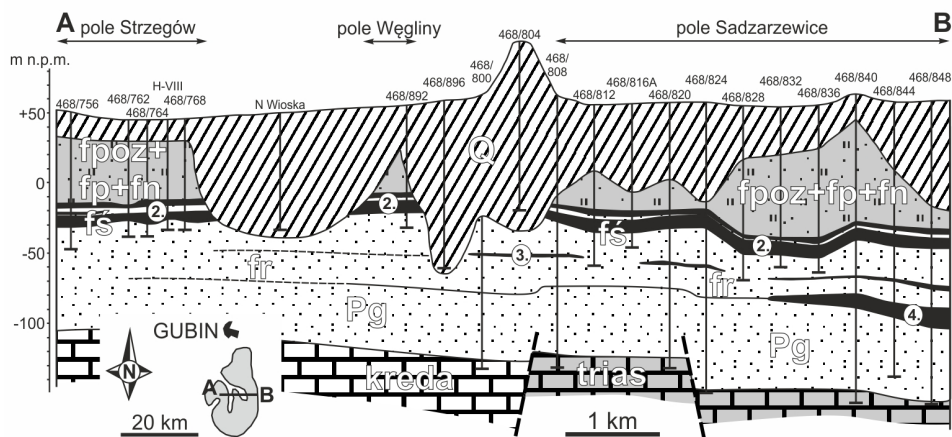
północne i południowo-zachodnie tereny wchodzą w skład odpowiednio synklinorium szczecińsko-miechowski (segment szczecińsko-gorzowski) i synklinorium północnosudeckiego (Zelaźniewicz i in. 2011).

W okolicach Gubina podłoże mezozoiczne zbudowane jest ze skał triasowych (poza najbardziej północnymi fragmentami), a w okolicach Mostów już ze skał kredowych. Jego morfologia jest względnie płaska, zalegając średnio na głębokości około 210 m p.p.t. i na rzędnych około 105 m p.p.m. (Kasiński i in. 2008). Osady kenozoiczne reprezentują kompletny profil litostratigraficzny paleogenu i neogenu na Niżu Polskim. Osady paleogeńskie (oligoceny), o średniej miąższości 40–60 m, zostały pierwotnie wyróżnione jako seria lubuska (ryc. 33, Dyjor 1978), jednak dokładniejsza analiza danych otworowych pozwoliła na ich rozdzielenie na 4 jednostki litostratigraficzne, tj. formacje: mosińską dolną, czempińską, mosińską górną i leszczyńską (Kasiński i in. 2008, Kasiński 2012). Tylko osady formacji czempińskiej (piaski, piaski węgliste, muły, muły węgliste, soczewy węgla brunatnego – 5. czempiński pokład) reprezentują facje lądowe. Natomiast osady pozostałych formacji (piaski, piaski pylaste, piaski glaukonitowe) są typowe dla facji morskich i/lub brakicznych, czyli wysłodzonych wód morskich (Ciuk 1970). Warto dodać, że na obszarze złóż gubińskich osady formacji mosińskiej dolnej i czempińskiej przechodzą obocznie w głębokomorskie osady tzw. formacji rupelskiej, która składa się z ciemnych ilów i mułów (Piwocki 2004).

Na górnooligocenyjskiej formacji leszczyńskiej (piaski pylaste z glaukonitem) spoczywa neogen węglonośny o bardzo zróżnicowanej miąższości od około 20 m na obszarze rynien subglacialnych do ponad 100 m w ich otoczeniu (ryc. 34). Osady neogeńskie rozpoczyna formacja rawicka, w której spągowych partiach (ogniwo dąbrowskie) występują 1–2 ławy 4. dąbrowskiego pokładu węgla brunatnego. Jest to istotne ze względów złożowych, gdyż pokład ten ma cechy bilansowe. Jego miąższość mieści się w przedziale 2,8–25,5 m, a średnio ma 11,8 m. Niemniej jednak na obszarze złoża „Gubin” nie odgrywa on większej roli poza polem Sadzarzewice (ryc. 34). Jego miąższość i zasięg występowania zwiększają

Litostratygrafia dla S części obszaru Ziemi Lubuskiej	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry, muły)	pliocen
seria Gozdniczy		og. wielkopolskie formacja poznańska	górny
seria poznańska		og. ilów szarych form. naramowicka	
seria Mużakowa		formacja pawłowicka	środkowy
seria śląsko-łużycka		formacja ścinawska	dolny
seria żarska		og. żarskie formacja rawicka	
seria lubuska		formacja leszczyńska	górny
		form. mosińska dolna	dolny
		form. czempińska	
		form. mosińska dolna	
mezozoik		trias/kreda (wapienie, łowce, margle, piaskowce)	oligocen

Ryc. 33. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złóż gubińskich (za: Dyjor 1978, zmienione)
Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24



Ryc. 34. Przekrój geologiczny przez złoże gubińskie węgla brunatnego (za: Różycki 1992, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 33

się w złożu „Gubin–Zasieki–Brody” (Kasiński 2012). Z kolei w złożu „Mosty” 4. dąbrowski pokład występuje najczęściej w postaci 2 ław węglowych (lokalnie nawet 6) o łącznej średniej grubości 12,0 m (Piwocki 1998). Wyżej w profilu zalega formacja ścinawska, która obejmuje stropowe warstwy serii żarskiej i serię śląsko-łużycką (ryc. 33). Wśród osadów piaszczysto-mułowo-żwirowych w spągu występuje nieciągły, względnie cienki i niebilansowy 3. ścinawski pokład (bilansowy w złożu „Mosty”, maksymalna miąższość do 35 m), a w stropie tej formacji zalega 2. łużycki pokład węgla brunatnego. Pokład ten jest bilansowy we wszystkich złożach gubińskich, chociaż jest poprzedzielany głębokimi rynnami subglacialnymi na tzw. pola węglowe, np.: Strzegów, Węgliny, Sadzarszewice (ryc. 34). W złożach „Gubin” i „Gubin–Zasieki–Brody” jego miąższość waha się od 5,0 do 18,6 m, a średnio wynosi 10,9 m (Kasiński i in. 2008, Kasiński 2009, 2012). Ponad 2. łużyckim pokładem węgla brunatnego znajdują się mułowo-piaszczyste osady serii Mużakowa, wydzielane obecnie jako formacje pawłowicka i naramowicka, które rozdziela cienki (średnio 0,7 m) i nieciągły 2a. lubiński towarzyszący pokład. Powyżej występuje formacja poznańska wykształcona w postaci 1. środkowopolskiego (Henryk) pokładu węglowego w spągu i „iłów poznańskich” (ogniwo wielkopolskie) wyżej. Pokład ten jest niebilansowy, gdyż jego średnia miąższość wynosi 1,1 m, a maksymalna (otwór 81/38) – 6,3 m (Kasiński i in. 2008). Profil neogenu na obszarze złóż gubińskich kończą piaszczysto-ilaste osady serii Gozdnicy (ryc. 33, Dyjor 1978). Jednak ze względu na duże podobieństwo litologiczne osady młodszego neogenu, tj. powyżej formacji ścinawskiej, zostały łącznie zaznaczone na przekroju geologicznym jako muły należące do formacji: pawłowickiej, naramowickiej i poznańskiej (ryc. 34). Węgiel z wyżej opisanych złóż charakteryzuje się dobrymi parametrami, poza zawartością siarki, która w porównaniu z innymi złożami jest wysoka (tab. 17). Trzeba jednak

Tabela 17. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych dla węgla brunatnego ze złóż gubińskich (za: Kasiński i in. 2008)

Złoże	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
„Gubin”	wartość opałowa (Q_i^f)	MJ/kg	9,3
	popielność (A^d)	%	15,6
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,6
	N:W	–	6,7
„Gubin–Zasieki–Brody”	wartość opałowa (Q_i^f)	MJ/kg	9,5
	popielność (A^d)	%	16,6
	zawartość siarki (S_i^d)	%	2,7
	N:W	–	7,2
„Mosty”	wartość opałowa (Q_i^f)	MJ/kg	9,5
	popielność (A^d)	%	17,2
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,8
	N:W	–	6,6

zauważyć, że w niektórych partiach tych złóż, zwłaszcza w przypadku złoża „Mosty”, całkowita zawartość siarki (S_i^d) wynosi nawet 4–10% wag., czyli przekracza dopuszczalne wielkości (Piwocki 1998). Warto dodać, że zawartość siarki nie jest aktualnie wymieniana w Rozporządzeniu... (2015). Z drugiej strony, zasoby geologiczne złóż węgla w odległości do 100 km od Gubina są bardzo duże, sięgające kilku miliardów ton, w tym zasoby operatywne wynoszą 2,35 mld ton (tab. 18).

Tabela 18. Zestawienie najważniejszych informacji dotyczących planowanego kompleksu górnictwo-energetycznego w regionie zachodnim – złoża gubińskie i sąsiadujące (za: Kasztelewicz 2011)

Złoża	Zasoby operatywne (mln ton)
„Gubin”, „Gubin–Zasieki–Brody”, „Mosty”	1350
„Cybinka”, „Torzym”, „Rzepin”, „Sieniawa”	1000
Elektrownie	Liczba bloków i moc (MW)
Gubin	4 × 1100 = 4400
Cybinka	3 × 600 = 3300

Lokalizacja złóż i planowanych elektrowni na ryc. 35

Górnictwo węgla brunatnego w bliskim otoczeniu obecnych złóż gubińskich było prowadzone już na początku XIX wieku. Dotyczyło ono jednak lokalnego, krótkotrwałego wydobywania na obszarach zaburzonych glacitektonicznie Wzgórz Gubińskich i Łuku Mużakowa. W rzeczywistości eksploatowany był 1. środkowopolski pokład, który obecnie nie ma znaczenia złożowego. Jednak dopiero w połowie XIX wieku zaczęły powstawać liczne kopalnie głębinowe i odkrywkowe o rocznym wydobywaniu węgla liczącym w dziesiątkach tysięcy ton (Gontaszewska-Piekarz 2017). Największą z nich i najdłużej funkcjonującą (do 1973 roku) była kopalnia Babina w Łęcznicy na Łuku Mużakowa, która sąsiaduje bezpośrednio ze



Ryc. 35. Plany wykorzystania największych złóż gubińskich i sąsiadujących w regionie zachodnim dla celów energetycznych (za: Kasztelewicz 2011, zmienione)

Dodatkowe objaśnienia w tab. 18

7700 MW (Kasztelewicz 2011). Przy założonym wydobyciu i uwzględnieniu obliczonych zasobów operatywnych oba kompleksy górniczo-energetyczne mogłyby istnieć przez co najmniej 50 lat (tab. 18). Budowa wspomnianych kopalń Gubin i Cybinka byłaby kontynuacją górnictwa i energetyki opartej na węglu brunatnym, które z powodzeniem funkcjonują przez ostatnie dziesięciolecie po zachodniej, niemieckiej stronie Nysy Łużyckiej (ryc. 35).

6.4.4. „Lubstów”

Złoże węgla brunatnego „Lubstów” zlokalizowane było (złoże wyeksploatowane) w okolicach Konina – wschodnia Wielkopolska (ryc. 18), na Pojezierzu Kujawskim. Jest to obszar południowo-wschodniego skłonu tzw. struktury solnej „Gopła”, będącej częścią walnej strefy uskokuwej Gopło–Ponętów–Pabianice (Widera 1998). Według najnowszego podziału tektonicznego Polski omawiane tereny znajdują się w środkowej części segmentu mogileńsko-łódzkiego, który stanowi fragment synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Złoże „Lubstów” wymaga omówienia w tej monografii z kilku ważnych górniczych i geologicznych względów. Po pierwsze, zawierało ono najgrubsze pokłady węgla w rejonie konińskim i czwarte (po złożach „Bełchatów”, „Szczerców” i „Złoczew”) w Polsce. Po drugie, jest to jedyne złoże w rejonie konińskim, gdzie








złożami gubińskimi. Od lat 50. XX wieku do pierwszych lat XXI wieku przeprowadzono kilkakrotnie prace geologiczne, które skutkowały udokumentowaniem wielkich zasobów omawianych złóż (tab. 18, Kasiński 2012). Dlatego kilkanaście lat temu pojawiła się koncepcja zagospodarowania gubińskich, a także sąsiadujących z nimi innych złóż węgla brunatnego dla celów energetycznych. Planowano powstanie dwóch wieloodkrywkowych kopalń i elektrowni o nazwach Gubin i Cybinka (ryc. 35).

Pierwsza z wymienionych elektrowni miała objąć złoża „Gubin”, „Gubin–Zasieki–Brody” i „Mosty”, a druga miała funkcjonować na złożach „Cybinka”, „Torzym”, „Rzepin” i „Sieniawa”. Docelowo planowano wydobywać w obu kopalniach około 45,5 mln ton węgla rocznie, co umożliwiłoby funkcjonowanie 7 bloków energetycznych o łącznej mocy

zbilansowany i wydobywany był wyłącznie 2. łuzycycki pokład węgla brunatnego. Po trzecie, wypełniało ono najgłębszy kenozoiczny rów tektoniczny w Wielkopolsce i jeden z najgłębszych w Polsce. I po czwarte, litostratygrafia kenozoiku na obszarze złoża „Lubstów” różni się znacząco od otaczających terenów, włączając wszystkie konińsko-adamowskie złoża węgla brunatnego.

Podłoże podkenozoiczne w otoczeniu złoża „Lubstów” zbudowane jest z margli, gez, opok i piaskowców węglanowych wieku późnokredowego. Ukształtowanie paleorzeźby stropu mezozoiku jest bardzo urozmaiczone, gdyż różnice w zaleganiu wymienionych skał kredowych przekraczają 220–260 m na dystansie 1–2 km (Widera 1998, 2011). Jest to więc najgłębszy kenozoiczny rów tektoniczny w Wielkopolsce o dość złożonej budowie, ze strukturami zrębowymi w osiowej strefie. Profil litostratygraficzny osadów kenozoicznych jest niepełny, chociaż bardziej kompletny niż w przypadku terenów otaczających (ryc. 36). Osady paleogenu, o maksymalnej miąższości powyżej 137 m (nie zostały przewiercone), są trudne do rozdzielania w większości otworów wiertniczych na podstawie cech litologicznych. Dlatego wyróżniono je jako paleogen nierozdzielony (ryc. 36, Widera 2007). Są to najczęściej piaski lub piaskowce glaukonitowe, czasem z domieszką żwiru, bez przewarstwień innych typów litologicznych skał. Tylko sporadycznie stwierdzono wśród nich muły węgliste z cienkimi soczewami węgla brunatnego, który uznano za ekwiwalent 5. czempińskiego pokładu węglowego (Ciuk, Grabowska 1991).

Neogen na obszarze złoża „Lubstów” reprezentują osady lądowe wykształcone w różnych facjach, tzn. reprezentujących różne typy litologiczne skał. Na paleogenie, a czasem poza złożem wprost na stropie kredy, zalegają osady formacji rawickiej, które są wykształcone głównie jako piaski, a podrzędnie jako piaskowce kwarcytyczne. W najgłębszych częściach rowu tektonicznego ich miąższość wynosi 40–60 m i zmniejsza się do 20–30 m w jego brzeżnych częściach (ryc. 37). Wyżej w profilu spoczywa formacja ścinawska, która w zasadniczej części zbudowana jest z 2. łuzycyckiego pokładu węgla brunatnego, lokalnie nazywanego lubstowskim (Widera 2007). Temu pokładowi należy poświęcić nieco więcej

Litostratygrafia dla obszaru rowu Lubstowa	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry, muły)	pliocen
formacja poznańska		formacja poznańska	górny
formacja naramowicka + pawłowicka		form. naramowicka formacja pawłowicka	
pokład lubstowski formacja ścinawska		formacja ścinawska	środkowy
formacja rawicka		formacja rawicka	
paleogen nierozdzielony		form. mosińska dolna form. czempińska form. mosińska dolna	dolny
mezozoik		kreda (margle, gezy, opoki, piaskowce)	miocen

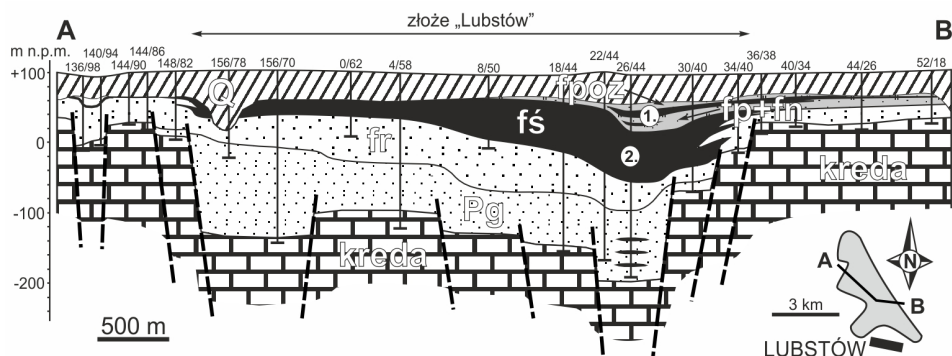
Ryc. 36. Litostratygrafia osadów paleogeońsko-neogeońskich na obszarze złoża „Lubstów” (za: Widera 2007, zmienione)
Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

uwagi, gdyż w opinii miejscowych górników i geologów oraz autora tej monografii był on „perłą w koronie” KWB Konin. Kilka cech wyróżniało go spośród innych pokładów eksploatowanych we wschodniej Wielkopolsce:

- tylko w złożu „Lubstów” występował i był eksploatowany 2. łuzycy (lubstowski) pokład węgla brunatnego – z pozostałych złóż rejonu konińsko-adamowskiego eksploatowany był/jest 1. środkowopolski pokład;
- w otworze 26/44 spąg pokładu lubstowskiego został nawiercony najgłębiej we wschodniej Wielkopolsce, tj. na rzędnych 60 m p.p.m. – w innych otaczających złożach o 80–100 m wyżej;
- deniwelacje (różnice w wysokości) spągu tego pokładu przekraczają 110 m na obszarze złoża „Lubstów” – w innych złożach konińsko-adamowskich wynoszą poniżej 30 m;
- w otworach 24/49 i 22/22 stwierdzono największą miąższość ciągłego pokładu węglowego w Wielkopolsce, wynoszącą 86,2 m – w przypadku otaczających złóż maksymalna grubość węgla (1. środkowopolskiego pokładu) wynosi niepełna 20 m, a średnio poniżej 10 m;
- w otworze 26/44 występowała największa sumaryczna miąższość węgla (łącznie pokłady 2. łuzycy i 1. środkowopolski) w Wielkopolsce, wynosząca 91,6 m (ryc. 37);
- stosunek N:W (nadkład:węgiel) w południowo-wschodniej części złoża wynosił od mniej niż 1 do 2–4 w innych jego częściach – dla pozostałych konińskich złóż N:W mieści się w przedziale 5–10;
- jakość węgla ze złoża „Lubstów”, zwłaszcza jego wartość opałowa, była średnio o 6–12% wyższa niż z innych złóż należących do KWB Konin; poza tym węgiel ze złoża „Lubstów” zawierał najmniej siarki ($S_t^d = 0,8\%$ wag.), podczas gdy w innych złożach było/jest to 1,4–2,4% wag.

W stropie pokładu lubstowskiego zalegały trudne do rozdzielenia muły formacji pawłowskiej i naramowickiej. Powyżej tylko w nielicznych otworach stwierdzono występowanie formacji poznańskiej, z 1. środkowopolskim pokładem węgla brunatnego (ryc. 36). Pokład ten osiągał maksymalnie 13 m (średnio 3–8 m), ale ze względu na niewielkie rozprzestrzenienie nie miał cech bilansowych. Neogen przykryty był warstwą osadów czwartorzędowych, których miąższość jest dość wyrównana (ok. 40 m) poza rynnami subglacialnymi, gdzie jest zdecydowanie większa i przerywana jest ciągłość pokładu węgla, np. w otoczeniu otworu 156/78 (ryc. 37). Osady starszych zlodowaceń reprezentowane są głównie przez piaski, żwiry i szare gliny lodowcowe. Natomiast osady zlodowaceń północnopolskich (Wisły) wykształcone są w postaci piasków i żwirów, często gliniastych, oraz brązowych glin lodowcowych. Holocen to przede wszystkim namuły i torfy niewielkich cieków powierzchniowych (ryc. 36).

Złoże „Lubstów” wypełniało rów tektoniczny o tej samej nazwie, którego tektoniczna geneza nie jest kwestionowana w literaturze geologicznej. Uskoki wyinterpretowane na przekroju geologicznym to raczej strefy uskokowe, które składają się z większej liczby uskoków o mniejszych zrzutach. Jednak ich sumaryczny zrzut niekiedy sięga kilkudziesięciu metrów między sąsiednimi otworami wiertniczymi, np. 148/82 i 156/70 oraz 26/44 i 30/40 (ryc. 37). Poza tym wspomniane uskoki

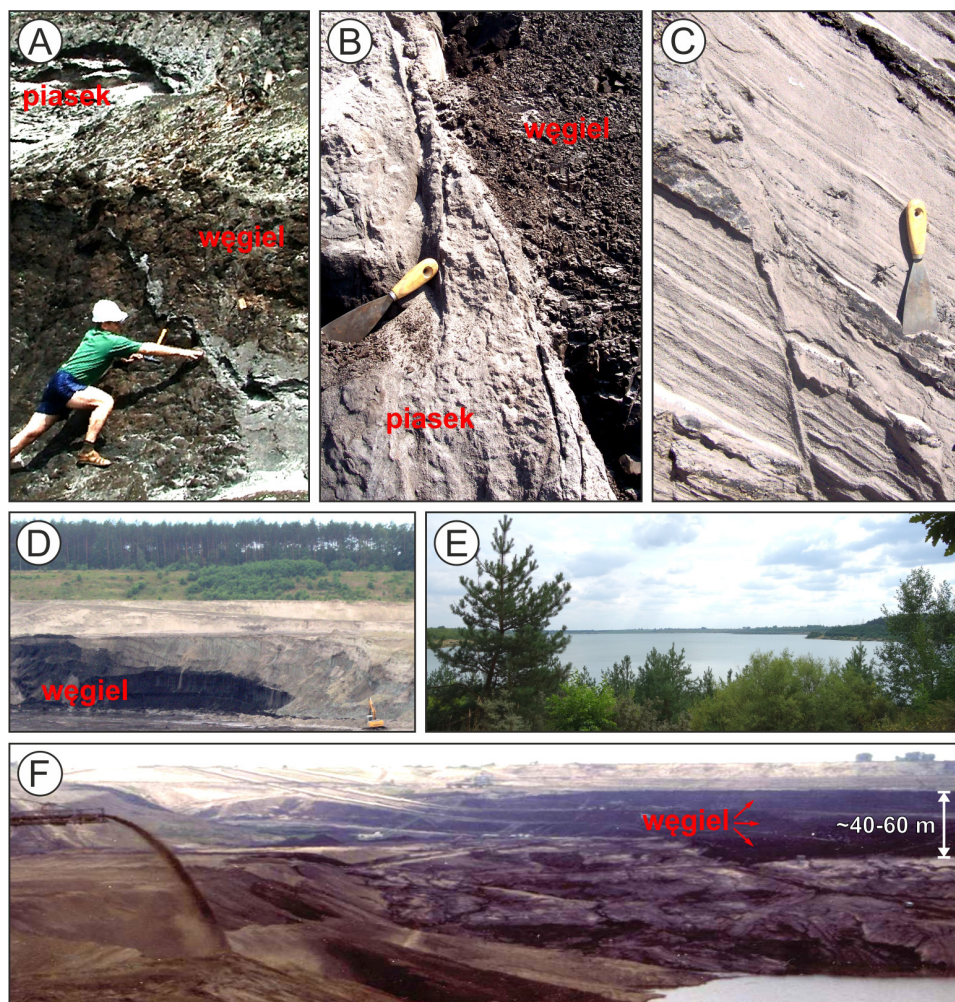


Ryc. 37. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Lubstów” (za: Widera 2007) Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 36

często znajdują kontynuację w osadach podwęglowych i w spągowych warstwach głównego (lubstowskiego) pokładu węglowego, co udokumentowano w odkrywce kopalnianej (ryc. 38A–C). W najbardziej północnych częściach złoże „Lubstów” występowały też fałdy glacitektoniczne (o amplitudzie do 20 m), obejmujące stropowe warstwy 2. łuzycyjskiego pokładu węgla brunatnego (ryc. 38D). Większą część terenu po odkrywce Lubstów zajmie zbiornik wodny, którego docelowa powierzchnia będzie wynosiła około 500 ha, a objętość około 135 mln m³ (ryc. 38E).

Dzięki tektonice synsedymenacyjnej powstały najpierw grube (ponad 200 m) warstwy torfu, które następnie zostały, głównie w fazie geochemicznej, przekształcone w wyżej scharakteryzowany pokład węgla o miąższości blisko 90-metrowej. Zapewne ciekawostką jest fakt, biorąc pod uwagę wielkość kompaktacji (patrz rozdz. 5.2.2), że w złoże „Lubstów” był „nadmiar” węgla. Ten fakt geologiczny został wyjaśniony przez postsedymenacyjne ponad 100-metrowe tektoniczne wyniesienie spągu pokładu węglowego w najgłębszej części rowu tektonicznego (Widera 2011). Umożliwiło to eksploatację węgla do rzędnych 30 m p.p.m., czyli około 130 m od powierzchni terenu (ryc. 37, 38F).

Złoże „Lubstów” wstępnie rozpoznano już w latach 50. XX wieku, ale nie spełniało ono wtedy nieformalnych kryteriów bilansowości, gdyż oszacowane zasoby (ok. 120 mln ton) wynosiły znacznie poniżej 300 mln ton. Jednak w związku ze wzrostem zapotrzebowania na węgiel przez konińskie elektrownie i stopniowym wyczerpywaniem się złóż już zagospodarowanych zainteresowano się tym złożem ponownie w połowie lat 70. ubiegłego wieku. Węgiel, w ilości około 107 mln ton, eksploatowano ze złoże „Lubstów” w latach 1982–2009. Początkowo pokład miał średnio miąższość 40–60 m (ryc. 38F), a w ostatnich latach wydobywano (północna część złoże) węgiel nawet z fałdów glacitektonicznych, gdzie jego grubość nie przekraczała kilkunastu metrów (ryc. 38D). Wiązało się to z deficytem węgla w KWB Konin oraz lepszą wartością opałową i mniejszą zawartością siarki w węglu ze złoże „Lubstów” w porównaniu z węglami z innych złóż (tab. 19). Pozwalało to na mieszanie węgla z różnych odkrywek/złóż, o różnych parametrach chemiczno-technologicznych.



Ryc. 38. Przykłady deformacji tektonicznych i glacitektonicznych z odkrywki Lubstów oraz jej rekultywacja i wydobycie węgla (KWB Konin, lata 1997–2020, fot. M. Widera) A–C – uskoki w węglu i osadach podwęglowych; D – zafałdowany glacitektonicznie 2. łuzycy (lubstowski) pokład węglowy; E – zbiornik końcowy po 10 latach napelniania (2020 rok); F – najgłębsza południowo-wschodnia część odkrywki z wyeksploatowanym węglem, w tle 3 poziomy eksploatacyjne węgla (1997 rok)

Tabela 19. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych węgla ze złoże „Lubstów” (za: Ożóg i in. 1995)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
2. łuzycy (lubstowski)	wartość opałowa (Q_i^t)	MJ/kg	10,1
	popielność (A^d)	%	15,2
	zawartość siarki (S_r^d)	%	0,8
	N:W	–	1,6




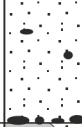


6.4.5. „Adamów”

Złoże „Adamów” znajduje się w okolicach Turku, we wschodniej Wielkopolsce (ryc. 18). Pod względem geomorfologicznym jest to Wysoczyzna Turecka. Natomiast pod względem tektonicznym jest to południowy fragment elewacji konińskiej (Widera 1998) oraz centralna część segmentu mogileńsko-łódzkiego, będącego środkowym elementem synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Na omawianym obszarze strop mezozoiku zbudowany jest głównie z górnokredowych margli i gez, a podrzędnie też z piaskowców wapienistych. Kenozoik rozpoczyna paleogen nierozdzielony, reprezentowany w dominującej masie przez tzw. „iły niebieskie”, które w rzeczywistości są mułami. Wśród nich sporadycznie występują soczewy piasku z cienkimi (do kilku decymetrów) warstwami węgla brunatnego, będącego najprawdopodobniej odpowiednikiem litostratygraficznym 5. czempiańskiego pokładu – formacja czempiańska. W pojedynczych otworach w stropie „iłów niebieskich” stwierdzono piaski glaukonitowe, które wolno zaliczyć do formacji mosińskiej górnej. Scharakteryzowane osady paleogeńskie są wieku wczesnooligocenckiego (ryc. 39).

Neogen reprezentowany jest tylko przez 2 formacje, tj. koźmińską i poznańską, która dzieli się na ogniwo iłów szarych i ogniwo wielkopolskie (ryc. 39). Formacja koźmińska to przede wszystkim osady piaszczyste, czasami z domieszką drobniejszych frakcji oraz detrytus roślinnego. W jej spągu, na osadach paleogeńskich lub wprost na skałach kredowych, występują tzw. „żwiry z Koźmina” – nazwa od pobliskiego złoża „Koźmin,” gdzie występowały one najliczniej i cechowały się największym urozmaiceniem petrograficznym. Wyżej w profilu spoczywa formacja poznańska, która dzieli się na ogniwo iłów szarych w spągu – 1. środkowopolski pokład węgla brunatnego, i ogniwo wielkopolskie – szczątkowo zachowane „iły poznańskie”. Profil kenozoiku kończą osady czwartorzędowe, wśród których przeważają piaski i żwiry wodnolodowcowe, a w mniejszej ilości występują muły zastoiskowe i gliny lodowcowe (ryc. 39). Osady te reprezentują zlodowacenia starsze niż zlodowacenie Wisły, gdyż omawiany teren znajdował się na przedpolu tego najmłodszego zlodowacenia plejstocenckiego w centralnej Polsce (Lindner 1992).

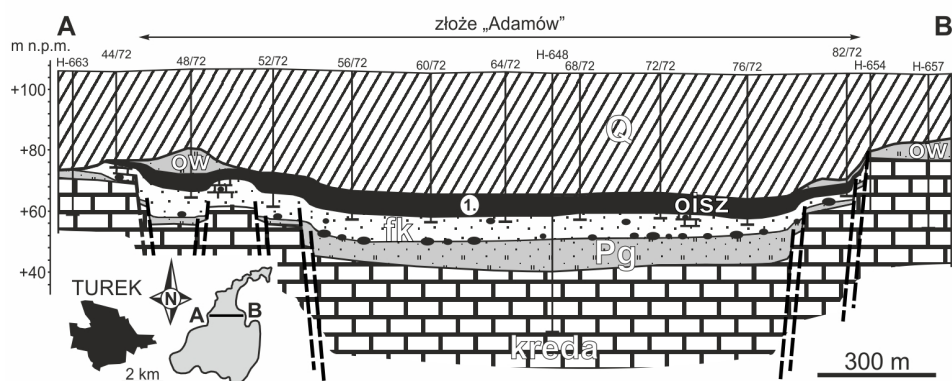
Złoże „Adamów”, wraz ze złożami „Krwony”, „Koźmin Południe”

Litostratygrafia dla obszaru rowu Adamowa	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (piaski, żwiry, muły, gliny)	pliocen
formacja poznańska		og. wielkopolskie	górny
1. pokład 1. środkowopolski		og. iłów szarych	środkowy
formacja koźmińska		piaskowiec kwarcytoczny	
		formacja koźmińska (daw. form. adamowska)	dolny
		„żwiry z Koźmina”	
paleogen nierozdzielony		form. mosińska dolna	dolny oligocen
mezozoik		formacja czempiańska	
		kreda (margle, gezy, piaskowce wapieniste)	

Ryc. 39. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złoża „Adamów” i innych złóż wypełniających rów Adamowa (za: Widera 2007, zmienione) Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

i „Kozmin Północ”, wypełnia wspólną strukturę tektoniczną, tj. rów Adamowa (ryc. 40). W osiowej strefie tego paleoobniżenia skały stropu mezozoiku odsłaniały się w kilku strukturach zrębowych, a na obszarze złoza „Adamów” jeszcze w połowie 2021 roku były dostępne do bezpośrednich obserwacji (ryc. 41A, B). Reprezentują one skały z pogranicza margli i gez (Widera 1998, 1999). W składzie chemicznym omawianych skał stropu mezozoiku przeważają tlenek wapnia (CaO) i krzemionka (SiO₂). Natomiast pod względem mineralnym są one zbudowane głównie z niskomagnezowego kalcytu (67,7% wag.), detrytycznego kwarcu (ok. 22% wag.) i illitu (ok. 5,4% wag.) (tab. 20). W skałach tych wyraźnie widać subhoryzontalne uławicenie, a przede wszystkim liczne spękania ekstensyjne o kątach upadu 60–90° (ryc. 41B). Z kolei paleogeńskie „iły niebieskie” składają się z frakcji: pyłowej (ok. 65% wag.), piaskowej (ok. 31% wag.) i ilowej (ok. 4% wag.). To znaczy, że wbrew ich nieprecyzyjnej nazwie, są one mułami/pyłami piaszczystymi. Depozycja „iłów niebieskich” zachodziła prawdopodobnie w głębszych partiach zbiornika jeziornego, gdzie panowały warunki redukcyjne – stąd ich niebieska barwa (ryc. 42C).

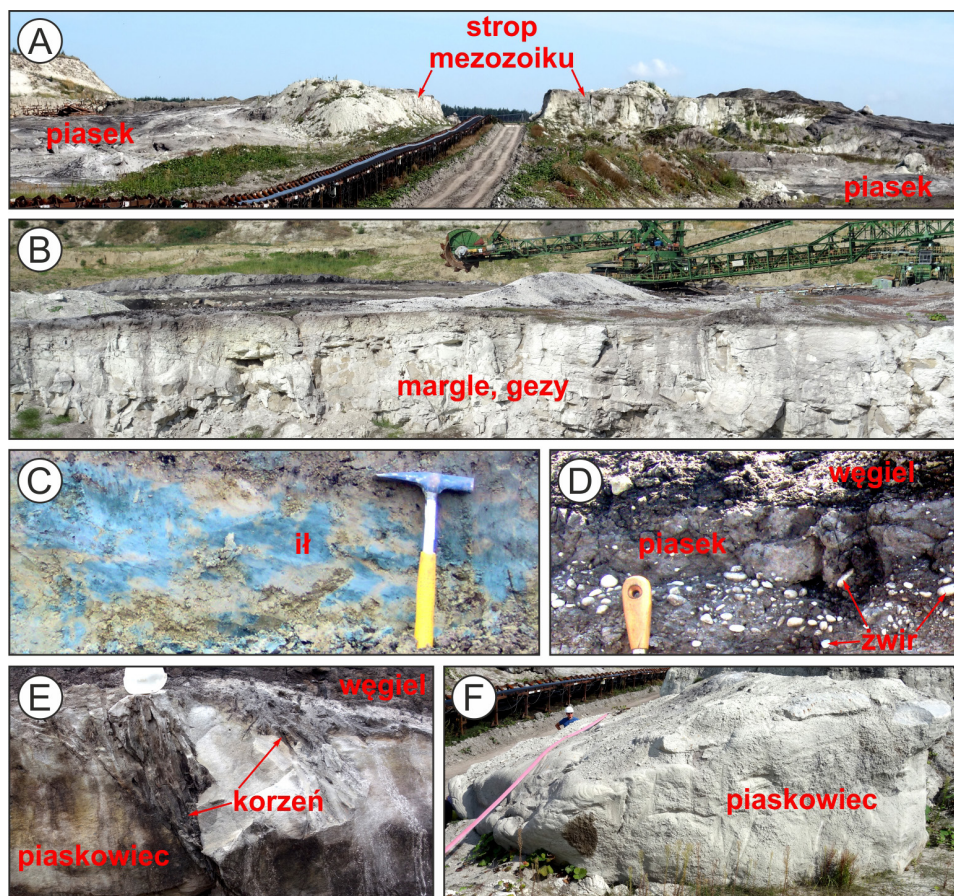
Niemniej jednak przez kilka dziesięcioleci największą zagadką geologiczną stanowiły wspomniane „żwiry z Kozmina” (ryc. 41D), gdyż na Niżu Polskim trudno jest wskazać drugie takie miejsce, gdzie występowałyby podobne żwiry tak licznie i były tak urozmaicone petrograficznie (tab. 21). Prawdopodobnie zostały one przetransportowane z Sudetów Zachodnich (niebieskie kwarcy z granitów rumburskich) przez paleogeńskie rzeki, które uchodziły do wczesnooligocénskiego morza. W środowisku plażowym żwiry te zostały poddane ostatecznej obróbce mechanicznej (tłusty połysk, dyskoidalny kształt), a w neogenie redeponowane były w osady formacji kozmińskiej w postaci spływów, czego dowodzi ich masywna struktura (ryc. 41D, Widera, Kita 2007, Widera 2010). Opisywane żwiry występują też w wyższych partiach osadów podwęglowych, w tym w piaskowcach kwarcytocznych (ryc. 39, 40).



Ryc. 40. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Adamów” (opracowanie własne na podstawie materiałów KWB Adamów)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 39

Pokład węglowy w złożu „Adamów” miał średnio 5,3 m, ale zdarzały się miejsca, gdzie jego miąższość przekracza 10 m. Cechował się on jednak dobrymi parametrami chemiczno-technologicznymi, zwłaszcza wysoką wartością opałową i niską zawartością siarki (tab. 22). Niestety niesprzyjająca pod względem hydrogeologicznym, oprócz wysoko wyniesionego i spękanego podłoża mezozoicznego (ryc. 41A, B), była także budowa geologiczna nadkładu i bliskość Warty. Po pierwsze, osady słabo przepuszczalne („iły zielone” i „iły płomieniste” ogniwa wielkopolskiego oraz czwartorzędowe muły zastoiskowe) nie stanowiły ciągłej warstwy (ryc. 40). Po drugie, w nadkładzie czwartorzędowym dominowały bardzo dobrze przepuszczalne piaski i żwiry. Dlatego KWB Adamów w całej swojej



Ryc. 41. Przykłady najbardziej interesujących osadów odsłaniających się na obszarze rowu Adamowa (KWB Adamów, lata 2010–2020, fot. M. Widera)

A, B – wychodnie stropu mezozoiku (odkrywka Adamów, 2020 rok); C – paleogeńskie „iły niebieskie” (odkrywka Koźmin Południe, 2007 rok); D – „żwiry z Koźmina” (odkrywka Koźmin Południe, 2005 rok); E, F – podwęglowy piaskowiec kwarcytyczny ze strukturami korzeniowymi (odkrywka Adamów, 2020 rok)

Tabela 20. Skład chemiczny i mineralny górnokredowych skał stropu mezozoiku z obszaru złoza „Adamów” (za: Wiedera 1999)

Skład chemiczny	
tlenek	% wag.
SiO ₂	24,73
Al ₂ O ₃	1,34
Fe ₂ O ₃	0,75
CaO	37,27
MgO	0,57
Na ₂ O	0,08
K ₂ O	0,46
straty prażenia	30,86
Skład mineralny	
kalcyt (niskomagnezowy)	67,7
kwarc (detrytyczny)	22,0
illit	5,4
inne (glaukonit, pirokseny itd.)	4,9

Tabela 21. Skład petrograficzny „żwirów z Koźmina” (za: Dobosz, Wiedera 2008)

Skład petrograficzny	
typ żwiru	% z 686 żwirów
mleczny	46,8
niebieskawy	15,5
różowy	10,0
miodowy	9,0
szary	3,9
biały	1,3
krzemienie	2,8
lidyty	2,1
piaskowce	0,4
margle, gezy	0,1

Pogrubioną czcionką zaznaczono najbardziej diagnostyczne typy petrograficzne żwirów

Tabela 22. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych węgla ze złoza „Adamów” (za: Piasecki 1999)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
1. śródkowopolski	wartość opałowa (Q _r ^r)	MJ/kg	9,0
	popielność (A ^d)	%	16,0
	zawartość siarki (S _r ^d)	%	0,3
	N:W	–	8,0

historii cechowała się największym wskaźnikiem zawodnienia (stosunek wypompowanej wody [m³] do masy wydobytego węgla [t]) (Kasztelewicz 2004). Według informacji kopalnianych dla odkrywki Koźmin Północ, znajdującej się w odległości 200–300 m od rzeki Warty, było to nawet ponad 70 m³ wody na tonę węgla.




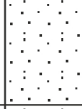
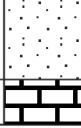

Węgiel brunatny w okolicy Turku został odkryty w 1950 roku przypadkowo, przy okazji poszukiwań ropy naftowej. W latach 1950–1952 grupą geologów z PIG w Warszawie kierował Adam Patla, profesor Politechniki i Uniwersytetu we Wrocławiu. W podziękowaniu za zasługi dla spodziewanego rozwoju Turku i okolic, od jego imienia (Adam) powstały nazwy kopalni, złoza, pierwszej i największej odkrywki oraz pobliskiej elektrowni, tj. Adamów (Piasecki 1999). W następnych latach rozpoznano kolejne złoza, co było podstawą budowy nowego kompleksu górnictwo-energetycznego. W 1964 roku wydobyto pierwsze tony węgla ze złoza „Adamów” i uruchomiono elektrownię Adamów. W następnych latach uruchamiano i zamykano kolejne odkrywki: Bogdałów (złoże „Krwony”, 1977–1991), Władysławów (złoże „Władysławów”, 1977–2012), Koźmin Południe (złoże „Koźmin Południe”, 1991–2009) i Koźmin Północ (złoże „Koźmin

Północ”, 2009–2016). Przez długie lata średnioroczne wydobycie w KWB Adamów wynosiło 4–5 mln ton, a w rekordowym 1996 roku sięgnęło prawie 5,2 mln ton. Natomiast ostatni węgiel ze złoża „Adamów” (najstarsza odkrywka Adamów, 1964–2021) wydobyto 17 lutego 2021 roku. Data ta oznacza koniec górnictwa węgla brunatnego w okolicy Turku. Ciekawostką może być fakt, że ponad 3 lata wcześniej (1.01.2018) zamknięta została elektrownia Adamów. W tym czasie węgiel z KWB Adamów przewożony był kilkadziesiąt kilometrów ciężarówkami do załadowni w Lubstowie, a dalej transportem kolejowym do konińskich elektrowni.

6.4.6. „Tomisławice”

Złoże „Tomisławice” zlokalizowane jest około 10 km na północny wschód od złoża „Lubstów”, we wschodniej części województwa wielkopolskiego (ryc. 18), na Pojezierzu Kujawskim. Obszar ten znajduje się nad północno-wschodnim skłonnem tzw. struktury solnej „Gopła” (Kamiński 2011). Należy ona do segmentu mogileńsko-łódzkiego, a ten z kolei do synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Podłoże podkenozoiczne złoża „Tomisławice” zbudowane jest ze skał wapiennych kredy górnej. Są one silnie spękane, a pod względem litologicznym reprezentują: margle wapniste, margle piaszczyste i opoki. Badania mikropaleontologiczne skał podłoża mezozoicznego wykazały, że należą one do piętra kampan, czyli są wieku późnokredowego (Kozła 1999). Wyżej zalegają oligocenijskie piaski glaukonitowe o odcieniu zielonkawym, wyróżnione jako paleogen nierozdzielony (ryc. 42). Natomiast neogen, tak jak we wszystkich złożach należących do KWB Konin i KWB Adamów (oprócz złoża „Lubstów”), obejmuje formację koźmińską i poznańską. W przypadku złoża „Tomisławice” formacja koźmińska zbudowana jest głównie z piasków, miejscami piasków pylastych z przerostami mułów, często węglistych. Ich miąższość przekracza lokalnie 10–15 m. Dolna część formacji poznańskiej to 1. środkowopolski pokład węgla brunatnego, niekiedy z przewarstwieniami piaszczystymi i ilastymi oraz „iłami szarymi” w stropie – ogniwo ilów szarych. Również w postaci nieciągłej warstwy występują „iły zielone” i „iły

Litostratygrafia dla obszaru złoża „Tomisławice”	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (piaski, żwir, muły, gliny)	pliocen
formacja poznańska		og. wielkopolskie	górny środkowy dolny m i o c e n
1. pokład 1. środkowopolski		og. ilów szarych	
formacja koźmińska		formacja koźmińska (daw. form. adamowska)	
paleogen nierozdzielony		form. mosińska górna + form. mosińska dolna	dolny oligocen
mezozoik		kreda (margle wapniste, margle piaszczyste, opoki)	

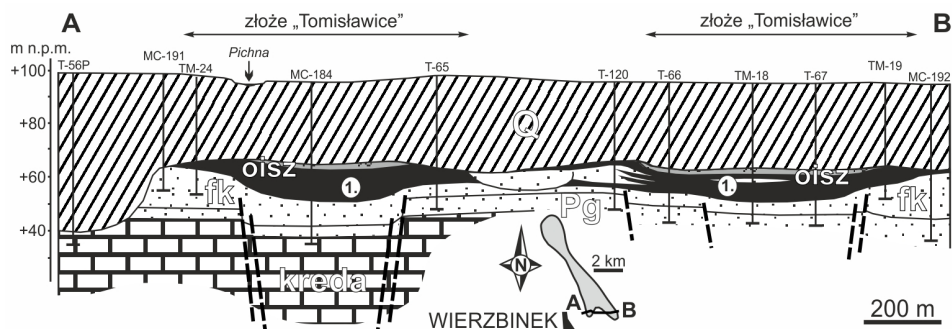
Ryc. 42. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złoża „Tomisławice” (za: Widera i in. 2017, zmienił)

Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

plamieniste” – ogniwo wielkopolskie, czyli górna część formacji poznańskiej. Wszystko przykryte jest czwartorzędowymi osadami glacyogenicznymi, takimi jak: piaski i żwiry fluwioglacjalne, muły zastoiskowe i gliny lodowcowe. Osady starszych zlodowaceń mają barwy szare, zaś osady najmłodszego zlodowacenia (Wisły) są przeważnie brązowe (Kozula 1999).

Złoże „Tomisławice” obejmuje obszar o słabo wyrażonej tektonice. Niemniej jednak w niektórych jego częściach widać wyraźną współkształtność stropu kredy i spągu pokładu węglowego, np. między otworami TM-12, MC-184 i T-65 (ryc. 43), co wskazuje na tektoniczną aktywność podłoża w czasie akumulacji torfu. Dodatkowym argumentem za neogeńską (środkowomioceniową) tektoniką jest wyrównana miąższość osadów paleogeńskich zarówno na wyniesieniach, jak i w obniżeniach stropu mezozoiku – otwory MC-184 i T-65. Dzięki wysokiej pozycji hipsometrycznej oligoceńskie piaski glaukonitowe, o charakterystycznej zielonkawej barwie, odsłaniały się niekiedy w rowach odwodnieniowych, które poprowadzono w osadach podwęglowych (ryc. 44A). Podwęglowe osady formacji koźmińskiej są wykształcone tak jak w innych odkrywkach, czyli w dominującej masie są to piaski, miejscami węgliste. Na nich zalega pokład węglowy o miąższości wynoszącej 3–12 m (średnio 6,9 m) i względnie dobrych parametrach chemiczno-technologicznych, poza wysoką popielnością, która przekracza 23% wag. (tab. 23).

Granice złoże „Tomisławice”, podobnie jak powierzchnia stropowa węgla, mają na znacznym obszarze charakter erozyjny. Przejawia się to w występowaniu rynien subglacjalnych (np. wokół otworu T-56P) lub zaleganiu osadów



Ryc. 43. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Tomisławice” (za: Widera i in. 2017, zmienione)

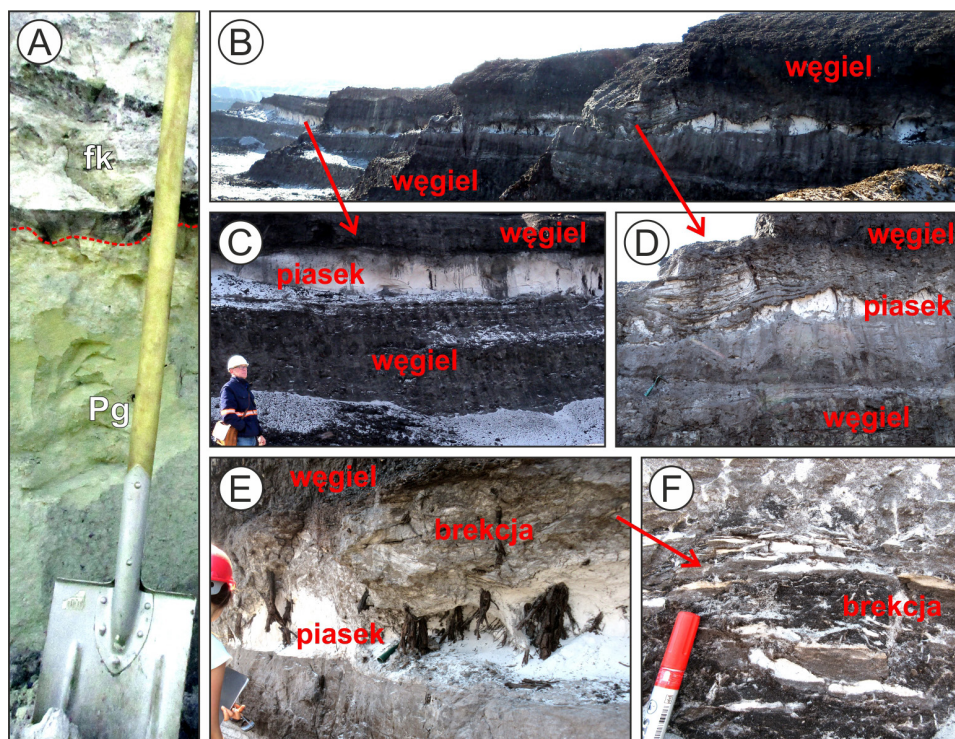
Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 42

Tabela 23. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych węgla ze złoże „Tomisławice” (za: Kozula 1999)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
1. środkowopolski	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	9,1
	popielność (A^d)	%	23,4
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,0
	N:W	–	6,9

czwartorzędowych wprost na stropie pokładu węglowego – otwory: TM-24, T-65, T-120, TM-19 i MC-192 (ryc. 43). Niemniej jednak złoża „Tomisławice” wyróżnia się wśród polskich złóż z kilku względów:

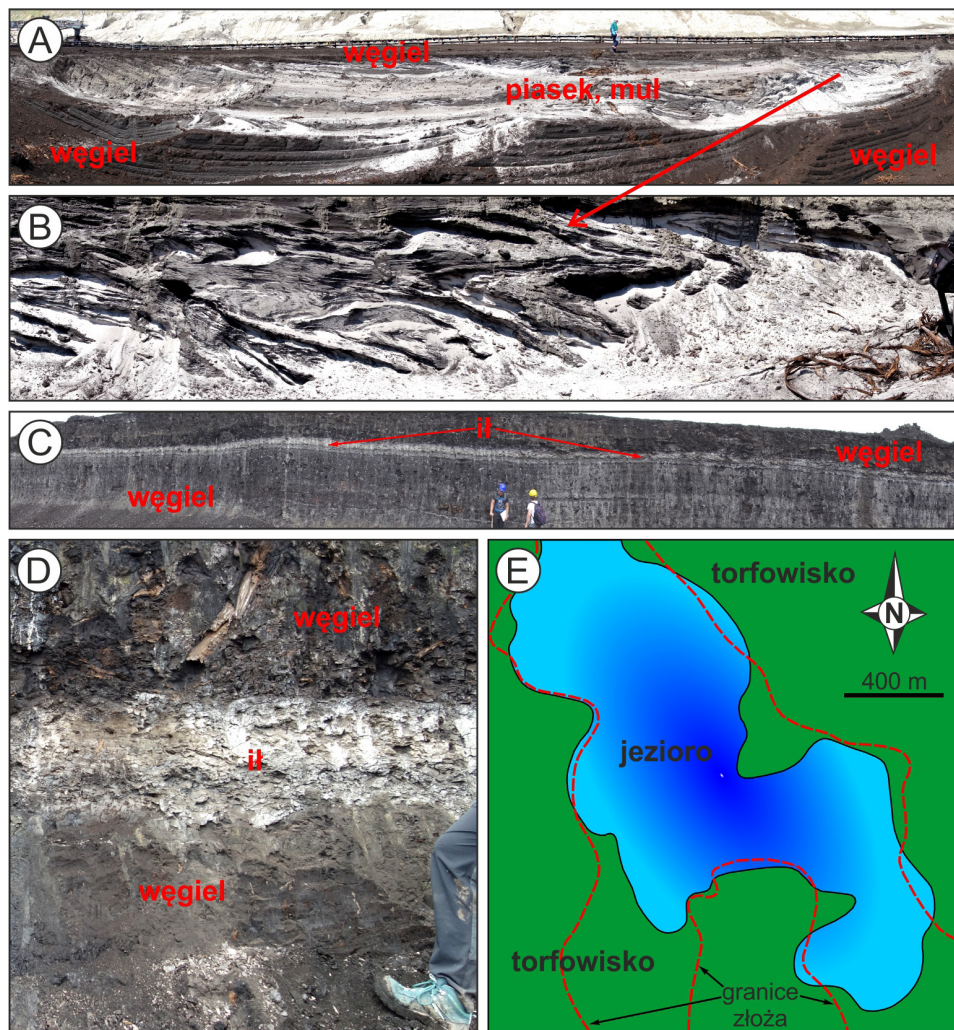
- w pokładzie węglowym ze złoża „Tomisławice” po raz pierwszy w miocenie węglonośnym w Polsce bezpośrednim obserwacjom poddano i opisano osady stożka krewasowego (ryc. 44B–D), co zinterpretowano jako skutek powodzi na obszarze środkowomiocenijskiego torfowiska (Widera i in. 2017, Chomiak 2020);
- na stropie wspomnianych osadów krewasowych także po raz pierwszy w osadach miocenijskich stwierdzono i opisano osady brekcji sedimentacyjnej (ryc. 44E, F), która najprawdopodobniej jest skutkiem ruchów masowych (zsuw, spływ) zachodzących na powierzchni najpierw wału brzegowego, a następnie stożka krewasowego (Widera 2017);
- w proksymalnej (bliżej rzeki) części innego stożka krewasowego po raz pierwszy nie tylko w Polsce stwierdzono obecność fałdów spływowych (ryc. 45A, B, Widera 2020);



Ryc. 44. Przykłady unikatowych osadów odśnających się na obszarze złoża „Tomisławice” (KWB Konin, lata 2015–2017, fot. M. Widera)

A – odsłonięcie paleogeńskich piasków glaukonitowych (2017 rok); B–D – osady stożka krewasowego (lata 2015–2016); E, F – brekcja sedimentacyjna (2016 rok)

- w południowej części złoza „Tomisławice”, w górnej części pokładu węglowego, wykartowano (na podstawie obserwacji ścian odkrywki i danych otworowych) warstwę ilów o miąższości do 0,8 m i powierzchni powyżej 1,5 km² (Chomiak i in. 2020); ily te osadziły się w jeziorze, które względnie długo istniało na obszarze środkowomiocenińskiego torfowiska, w tym dzisiejszego złoza „Tomisławice” (ryc. 55C–E); wspomniane przerosty klastyczne (piaski, ily) wpływają znacząco na podwyższoną popielność węgla z omawianego złoza (tab. 23).



Ryc. 45. Przykłady innych interesujących struktur i osadów odsłaniających się na obszarze złoza „Tomisławice” (KWB Konin, lata 2019–2020, fot. M. Widera)

A, B – fałdy splayowe w proksymalnej części stożka krewasowego (2019 rok); C, D – osady ilaste w obrębie pokładu węglowego (2020 rok); E – zasięg jeziora na obszarze środkowomiocenińskiego torfowiska z depozycją łąw (za: Chomiak i in. 2020, zmienione)

Występowanie węgla brunatnego w okolicach wsi Tomisławice było znane z pojedynczych otworów od co najmniej lat 70. XX wieku (Ciuk 1980). Jednak mała grubość pokładu węglowego i jego względnie nieduże rozprzestrzenienie nie wzbudzały zainteresowania KWB Konin. Dopiero w połowie lat 90. ubiegłego wieku zaczęto szukać nowych złóż, które zastąpiłyby złoża już zagospodarowane, zwłaszcza złożo „Lubstów”. Dlatego w 1999 roku wykonano dokumentację geologiczną złoża „Tomisławice”, którego zasoby bilansowe oszacowano na około 53 mln ton (Kozula 1999). W następnych latach uszczegółowiono rozpoznanie geologiczne złoża, co skutkowało obliczeniem zasobów operatywnych na 39,5 mln ton (patrz rozdz. 6.3.3). W efekcie pierwsze tony węgla z tego złoża wydobyto w 2011 roku (Kamiński 2011). Warto dodać, że odkrywka Tomisławice jest pierwszą i dotychczas jedyną w Polsce (i prawdopodobnie w Europie), której cały proces koncesyjny został przeprowadzony po przystąpieniu naszego kraju do Unii Europejskiej w 2004 roku. Pomimo postępowania zgodnego z prawem geologicznym i górniczym oraz przepisami z zakresu ochrony środowiska, eksploatacja węgla ze złoża „Tomisławice” wzbudzała duże kontrowersje zarówno wśród okolicznej ludności, jak i wśród ekologów. Pierwsi sprzeciwiali się wysiedleniu, obawiali się spadku plonów albo nie zgadzali się na kwoty oferowane za ich własność, tj. domy, zabudowę gospodarczą, użytki rolne itd. Drudzy natomiast protestowali przeciwko spodziewanemu destrukcyjnemu wpływowi eksploatacji węgla na jezioro Gopło i jego okolice, które obejmują obszar Natura 2000. Na koniec warto dodać, że KWB Konin posiada koncesję na wydobycie węgla ze złoża „Tomisławice” do 2030 roku.

6.4.7. „Pątnów IV”

Złożo „Pątnów IV” znajduje się około 20 km na północ od Konina, we wschodniej Wielkopolsce (ryc. 18). Pod względem geomorfologicznym jest to Pojezierze Gnieźnieńskie, natomiast pod względem tektonicznym – północno-zachodni fragment elewacji konińskiej (Widera 1998) oraz centralna część segmentu mogileńsko-łódzkiego, który jest środkowym elementem synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Strop mezozoiku w podłożu złoża „Pątnów IV” zbudowany jest głównie z górnokredowych margli i piaskowców wapnistych (Kozula 1998). Na tym obszarze, jak we wszystkich tzw. złożach pątnowskich (I–V) oraz w pobliskich i dawno wyeksploatowanych złożach „Morzysław”, „Niesłusz”, „Gosławice”, nie stwierdzono dotychczas osadów paleogeńskich. Dlatego litostratygrafia kenozoiku przedczwartorzędowego jest najprostsza ze wszystkich polskich złóż węgla brunatnego. Neogen zalega wprost na górnej kredzie i składa się tylko z 2 formacji, tj. koźmińskiej i poznańskiej (ryc. 46). Formacja koźmińska obejmuje piaszczyste osady podwęglowe, miejscami wzbogacone we frakcję pyłową, a także cienkie przewarstwienia i soczewy piasków węglistych oraz węgli brunatnych. W ogólnym ujęciu formacja poznańska jest wykształcona podobnie jak na obszarach innych okolicznych złóż (ogniwo iłów szarych i ogniwo wielkopolskie), w tym scharakteryzowanych wyżej złóż „Adamów” i „Tomisławice”, chociaż różni się miąższościowo i litologicznie.

Litostratygrafia dla obszaru rowu Kleczewa	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry)	czwartorzęd
formacja poznańska		og. wielkopolskie	pliocen
		og. iłów szarych	
pokład koniński formacja koźmińska	 1.	1. pokład 1. środkowopolski formacja koźmińska (daw. form. adamowska)	górny środkowy dolny m i o c e n
mezozoik		kreda (margle, piaskowce wapienste)	

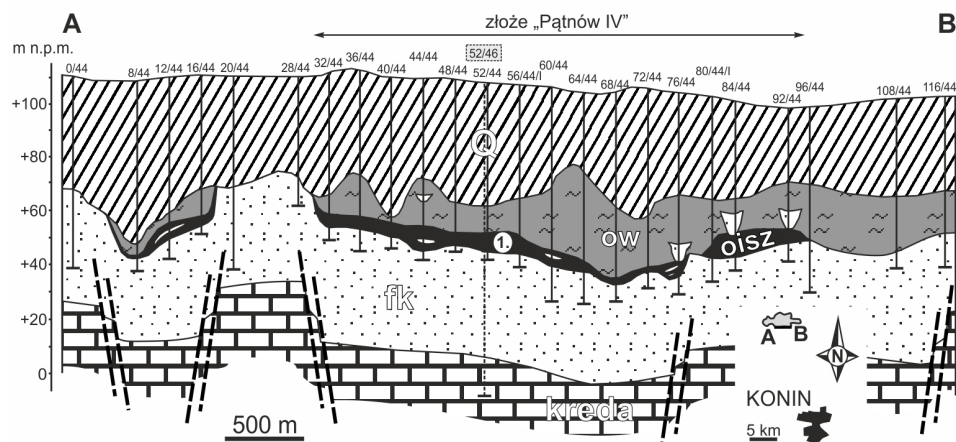
Ryc. 46. Litostratygrafia osadów neogénskich na obszarze złoże „Pątnów IV” i innych złożeń wypełniających row Kleczewa (za: Widera 2007, zmienione)

Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

w przeciwieństwie od obszaru złożeń „Adamów” i „Tomisławice”, przede wszystkim z szarych glin lodowcowych starszych zlodowaceń (głównie zlodowacenia Odry) oraz piasków, żwirów i brązowych glin zlodowacenia Wisły.

Złoże „Pątnów IV”, wraz ze złożami „Pątnów I”, „Pątnów II” i „Pątnów III”, wypełnia wspólną strukturę tektoniczną, tj. row Kleczewa (ryc. 47, Widera 1998). Aktywność tektoniczna tego obszaru przejawia się w obecności wielu uskoku (o rzzutach do 0,5 m) w osadach podwęglowych i spągowych warstwach pokładu

Ogniwo iłów szarych obejmuje 1. środkowopolski pokład węgla brunatnego o miąższości 3–13 m (średnio 6,6 m) oraz „iły szare”, które występują lokalnie, a ich maksymalna grubość rzadko przekracza 1 m – tylko w sąsiednim złoże „Pątnów III” (odkrywka Kazimierz Północ) dochodziła do 5 m. Należy tutaj dodać, że to właśnie w pierwszym opracowaniu palinologicznym węgla ze złoże „Pątnów IV” pokład ten został nazwany konińskim pokładem węgla brunatnego (ryc. 46, Sadowska, Giza 1991). Z kolei ogniwo wielkopolskie, w dominującej masie tzw. „iły poznańskie”, zalega ciągłą warstwą, o średniej grubości 10–30 m, a maksymalnie ponad 50 m w zaburzeniach glacitektonicznych. Wyżej spoczywa czwartorzęd wykształcony,



Ryc. 47. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Pątnów IV” (za: Widera 2014)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 46

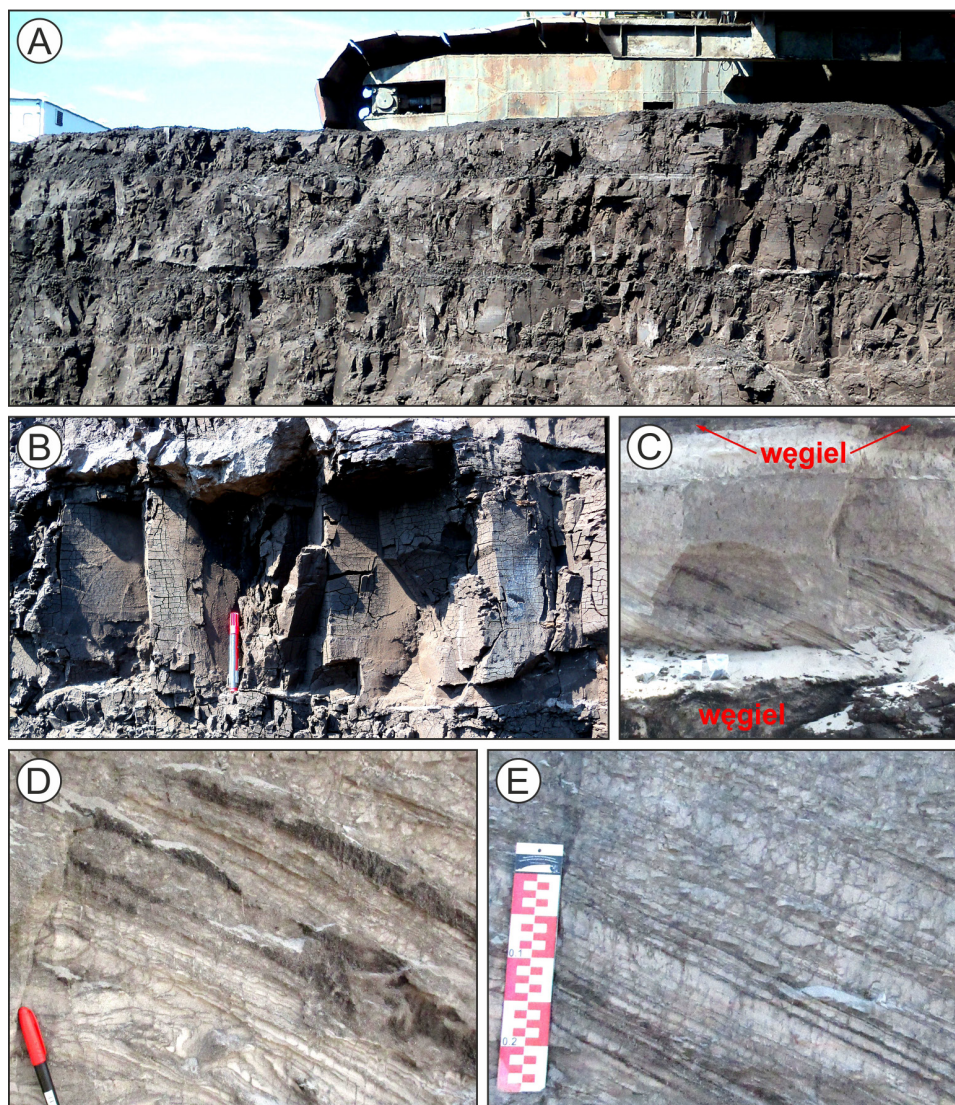
węglowego oraz wstrząsach sejsmicznych, które przyczyniły się do powstania brekcji tektonicznej. Jednak złożo „Pątnów IV” wyróżnia się kilkoma cechami, które warto wymienić i pokazać:

- 1. środkowopolski pokład węgla brunatnego ze złoża „Pątnów IV” ma najlepiej wśród miocenijskich węgli rozwinięte 2 zespoły spękań, które są prostopadłe do warstwowania i wzajemnie do siebie (ang. *cleats*); pierwszy zespół (ang. *face cleats*) ma bieg NW–SE, czyli zgodny z orientacją głównych jednostek tektonicznych w środkowej Polsce, a drugi z tych zespołów spękań (ang. *butt cleats*) ma bieg NE–SW (ryc. 48A, B, Widera 2014);
- w obrębie tego samego pokładu węglowego stwierdzono po raz pierwszy w miocenie węglonośnym Polski osady mikrodelty krewasowej – laminacja nachylona pod kątem do 25°; dodatkowo jej osady są silnie zdeformowane plastycznie i zbrekcjonowane (brekcja tektoniczna), co nie zostało opisane wcześniej ze światowych złóż węgla (ryc. 48C–E, Chomiak i in. 2019);
- w nadkładzie złoża „Pątnów IV”, wśród osadów ogniwa wielkopolskiego, występują liczne koryta charakterystyczne dla rzek anastomozujących (ryc. 49A); wypełnienia tych paleokoryt cechują się bogactwem struktur sedymentacyjnych, niekiedy unikatowych w osadach rzecznych, np. warstwowania heterolityczne (ryc. 49B–D, Maciaszek i in. 2019, Widera i in. 2019a, Zieliński, Widera 2020);
- w nadkładzie tego złoża udokumentowano też poziomy paleogleb, co dodatkowo świadczy o rzecznej, ale pozakorytowej genezie tzw. „iłów poznańskich” – ogniwo wielkopolskie (ryc. 49E, Maciaszek i in. 2020).

Wolno przypuszczać, że występowanie obecnych złóż pątnowskich, tj. tych, które zlokalizowane są po północnej stronie Jeziora Gośławickiego, znane było już w czasie II wojny światowej. Niemniej jednak ich dokładniejsze rozpoznanie nastąpiło w późniejszych latach, wraz z wyczerpywaniem się kolejnych złóż („Morzysław”, „Niestusz”, „Gośławice”, „Pątnów I”, „Pątnów II”, „Pątnów III”) i odsuwaniem się górnictwa węgla brunatnego od Konina. W latach 90. XX wieku postanowiono zagospodarować omawiane złożo „Pątnów IV”. Wiązało się to z uzyskaniem koncesji na eksploatację ponad 50 mln ton węgla (1994 rok) oraz uszczegółowieniem rozpoznania geologicznego złoża (Kozula 1998). Okazało się, że węgiel ten ma dość wysoką popielność i zasiarczenie nieznacznie przekraczające 2% wag. (tab. 24). Należy też zauważyć, że dużym utrudnieniem było pozostawienie filara ochronnego pod rurociągiem naftowym „Przyjaźń”, co skutkowało koniecznością budowy nowego wkopu otwarcia, tzw. „gruszki”. W efekcie pierwsze tony węgla ze złoża „Pątnów IV” wydobyto w 2003 roku, a eksploatację

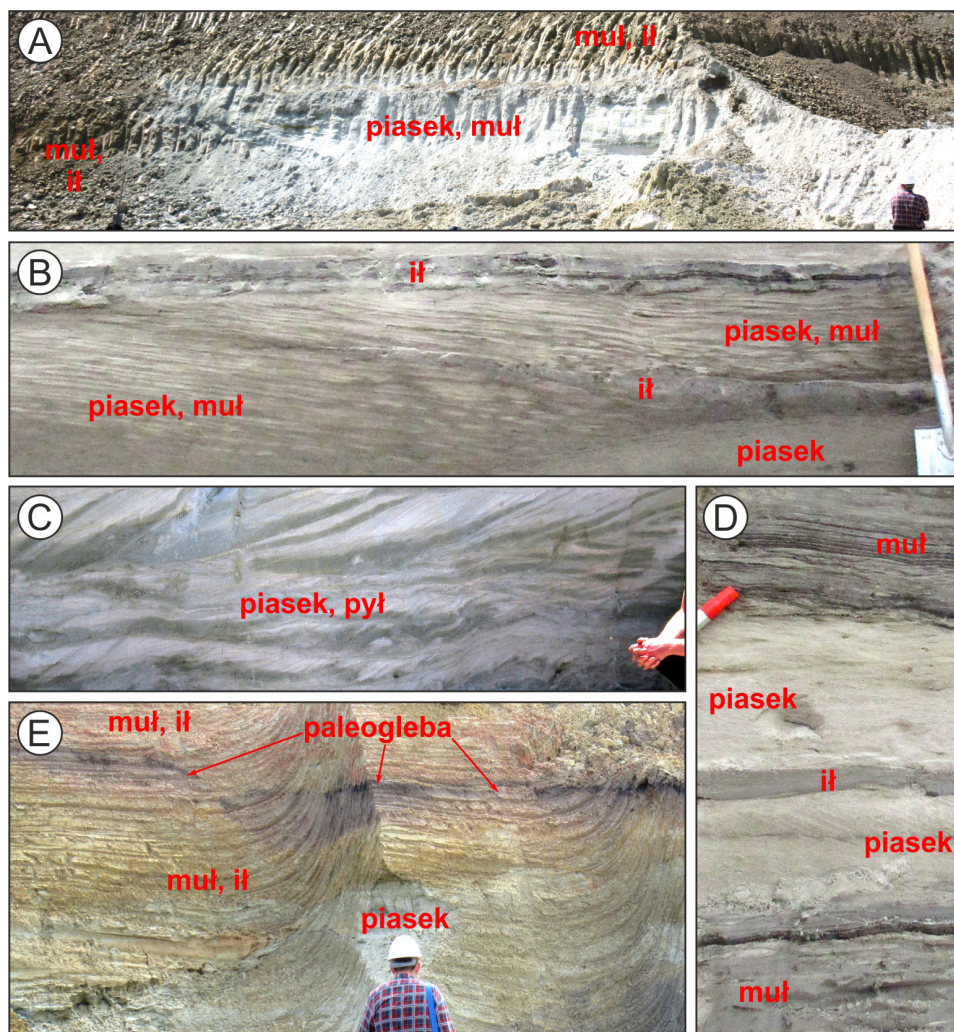
Tabela 24. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych węgla ze złoża „Pątnów IV” (za: Kozula 1998)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
1. środkowopolski (koniński)	wartość opałowa (Q_f^d)	MJ/kg	9,0
	popielność (A^d)	%	22,8
	zawartość siarki (S_r^d)	%	2,1
	N:W	–	8,3



Ryc. 48. Deformacje węgla i osadów klastycznych w obrębie konińskiego pokładu węglowego ze złoza „Pątnów IV” (KWB Konin, lata 2013–2019, fot. M. Widera)
 A, B – spęknięcia w węglach (2013 rok); C–E – osady czola mikrodeltę krewasowej zdeformowane plastycznie i krucho – brekcja tektoniczna (lata 2018–2019)

planowano do 2020 roku (Kasztelawicz 2004). Pomimo że KWB Konin ma koncesję na wydobycie węgla z tego złoza do 2026 roku, to jego eksploatacja najprawdopodobniej (informacje z Działu Geologicznego tej kopalni) zakończy się w połowie 2022 roku.



Ryc. 49. Osady ogniwa wielkopolskiego w nadkładzie złoża „Pątnów IV” (KWB Konin, lata 2016–2018, fot. M. Widera)

A – przykład paleokoryta w otoczeniu „iłów poznańskich” (2016 rok); B–D – osady i struktury sedymentacyjne wśród osadów korytowych (lata 2016–2018); E – osady pozakorytowe z poziomem gleby kopalnej – paleogleby (2016 rok)

6.4.8. „Bełchatów” i „Szczerców”

Złóża węgla brunatnego „Bełchatów” i „Szczerców” rozciągają się równoleżnikowo około 15–20 km na południe i południowy zachód od Bełchatowa (ryc. 18). Geomorfologicznie jest to pogranicze Wysoczyzny Szczercowskiej i Wysoczyzny Bełchatowskiej. Natomiast pod względem geologicznym omawiany obszar należy

do fałdów radomszczańskich (dawniej elewacji radomszczańskiej), które oddzielają segment mogileńsko-lódzki i miechowski w obrębie synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

W podłożu kenozoiku występują zarówno skały paleozoiczne, jak i mezozoiczne. Paleozoik reprezentują permskie sole, przykryte czapą ilasto-anhydrytowo-gipsową, które w postaci tzw. wysadu solnego „Dębiny” występują blisko powierzchni terenu. Wysad ten oddziela od siebie pola węglowe Szczercowa oraz Bełchatowa i Kamięńska, które obecnie określane są jako osobne złoża, tj. „Szczerców”, „Bełchatów” i „Kamięńsk” (np. Mazurek, Tymiński 2020). Natomiast mezozoik obejmuje skały wieku jurajskiego i kredowego. W odkrywkach kopalnianych odsłaniają się głównie wapienie górnojurajskie oraz margle, wapienie i opoki górnej kredy. Na bardzo morfologicznie urozmaiconym, głównie w wyniku procesów tektonicznych (rów Kleszczowa), podłożu zalega do 500–600 m osadów kenozoicznych.

W przypadku KWB Bełchatów, tak jak ma to miejsce w KWB Turów, bardzo ugruntowana jest lokalna, górnicza litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich. Ze względów praktycznych wspomniane osady podzielono na 4 kompleksy: podwęglowy, węglowy, ilasto-węglowy i ilasto-piaszczysty (ryc. 50, Czarnecki i in. 1992). Dotychczas tylko Kasiński (2004) podjął próbę korelacji osadów

ze złóż bełchatowskich z osadami z innych obszarów Niżu Polskiego. Jego myśl rozwinięto w tej monografii, w której przy zaliczeniu osadów (kompleksów litologicznych lub ich części) do odpowiedniej jednostki litostratygraficznej bardzo ważną rolę odgrywa wiek tufitów (ryc. 50). W złożu „Bełchatów” (pole Bełchatów) stwierdzono dotychczas kilka poziomów tufitowych, z których część datowano metodą trakową (Burchart 1985 w: Kasiński 2004), a inne skorelowano z poziomami tufitowymi w innych częściach kraju (Wagner 1984, 2000, Matl, Wagner 1986).

Profil kenozoiku na omawianym obszarze rozpoczynają zwietrzeliiny skał jurajskich i kredowych, zawierające конкреcje fosforytowe i krzemienie (Ciuk, Piwocki 1982). W kawernach podłoża mezozoicznego stwierdzono, wśród piasków i piasków glaukonitowych, soczewy węgla brunatnego, który

Litostratygrafia dla obszaru rowu Kleszczowa	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry)	czwartorzęd
kompleks ilasto-piaszczysty pokład A		og. wielkopolskie form. naramowicka, form. pawłowska i og. ilów szarych	pliocen
kompleks ilasto-węglowy pokład B		Ts1 Ts2 (16,5+/-1,3 Ma) iły kostkowe	
kompleks ilasto-węglowy pokład C		Ts3 Ts4 (18,5+/-1,7 Ma) iły kostkowe	środkowy
kompleks węglowy pokład D		formacja ścinawska gytia, kreda jeziorna Ts7 - poziom tufitowy	
kompleks podwęglowy		formacja rawicka	m i o c e n
mezozoik, paleozoik		paleogen nierozdzielony perm (sól + czapa ilowo-gisowa) jura (wapienie) kreda (margle, wapienie, opoki)	

Ryc. 50. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złóż wypełniających rów Kleszczowa (za: Czarnecki i in. 1992, Kasiński 2004, zmienione; daty poziomów tufitowych Ts4 i Ts2 za: Burchart 1985 w: Kasiński 2004)

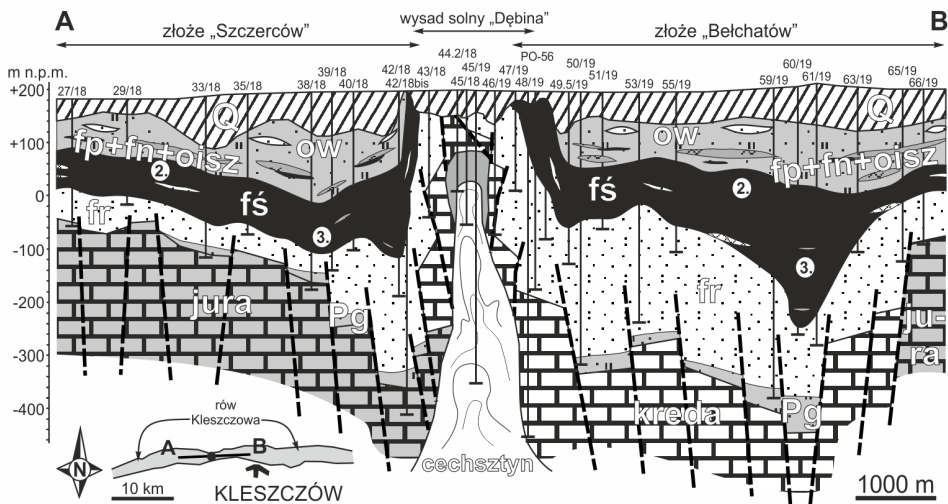
Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

jest najprawdopodobniej odpowiednikiem 5. czempińskiej grupy pokładów (M. Wagner, informacja ustna). Dlatego tę najniższą część kompleksu podwęglowego wyróżniono jako paleogen nierozdzielony (ryc. 50). Górna część kompleksu podwęglowego (o miąższości do 270 m), zbudowana jest z piasków, mułów i ilów z cienkimi przewarstwieniami węgla brunatnych, może być korelowana z dolno-mioceną formacją rawicką na Niżu Polskim. Wyżej zalega kompleks węglowy, osiągający do 200–300 m grubości, który jest bardzo zróżnicowany litologicznie: piaski, ily kostkowe, kreda jeziorna, bruki krzemienne, paratonsztajny, piaskowce kwarcytyczne i węgiel brunatny (Ciuk, Piwocki 1982). W obrębie tego kompleksu, według lokalnej litostratygrafii, wyróżnia się 3 pokłady węgla, tj.: pokład D – do ponad 200 m, pokład C – do 15 m i pokład B o miąższości poniżej 6 m. Na podstawie punktowych danych (paleontologicznych i paleobotanicznych) oraz wieku poziomu tufitowego Ts4 ($18,5 \pm 1,7$ Ma) wolno pokład D korelować z 3. ścinawskim, a pokłady C i B z 2. łuzycyckim pokładem węgla brunatnego. Podobnie wyżej zalegający, w obrębie kompleksu ilasto-węglowego, pokład A należy uznać za odpowiednik stropowych warstw 2. łuzycyckiego pokładu w innych częściach Niżu Polskiego. Wskazuje na to wiek poziomu tufitowego Ts2 ($16,5 \pm 1,3$ Ma), który znajduje się powyżej tego pokładu. Dlatego cały kompleks węglowy i dolna część kompleksu ilasto-węglowego razem tworzą formację ścinawską. Z kolei wyższa część kompleksu ilasto-węglowego, powyżej pokładu A razem z warstwami węgla (odpowiednik 1. środkowopolskiego pokładu) i poziomem tufitowym Ts1 w stropie, należy do nierozdzielonych formacji pawłowickiej i naramowickiej (dawniej adamowskiej) oraz ogniwa ilów szarych – niższej części formacji poznańskiej. Kończący profil neogenu kompleks ilasto-piaszczysty można w całości korelować z ogniwem wielkopolskim – wyższą część formacji poznańskiej (ryc. 50).

Złoża „Bełchatów” i „Szczerców” wraz ze złożem „Kamieńsk” wypełniają wspólną strukturę tektoniczną, tj. rów Kleszczowa, będący fragmentem tzw. strefy uskokowej (dyslokacyjnej) Poznań–Kalisz (Deczkowski, Gajewska 1980). Jest on zlokalizowany na północ od wsi Kleszczów, rozciąga się równoleżnikowo na dystansie około 80 km i ma szerokość 1,5–3 km. Niemniej jednak, ze względu na geologię złóż węgla brunatnego, jego środkowy odcinek jest najbardziej interesujący (ryc. 51). Wyróżnia się on kilkoma cechami wśród innych obszarów węglonośnych w Polsce:

- rów Kleszczowa jest najgłębszym rowem tektonicznym (ponad 500 m) na Niżu Polskim; w najgłębszej części strop mezozoiku nawiercono na rzędnych 414 m p.p.m., a na jego skrzydłach skały jurajskie i kredowe występują na rzędnych powyżej 100 m n.p.m. (Gotowała, Hałaszcak 2002);
- jedyny w Europie obszar, gdzie wielkie (o zasobach ponad 0,5 mld ton) złoża „Szczerców” i „Bełchatów” są oddzielone od siebie przez wysad solny, w tym przypadku jest to wysad solny „Dębiny” (ryc. 51);
- w złożu „Bełchatów” występuje ciągły pokład (łącznie 3. ścinawski i 2. łuzycycki) o największej co najmniej w Europie miąższości, która wnosi 250,4 m w otworze 60/19, w tzw. rowie II rzędu (Piwocki 1992, Widera 2013);
- deniwelacje spągu pokładu/ów węgla w złożu „Bełchatów” przekraczają 400 m, a stropu sięgają do 200 m (ryc. 51);

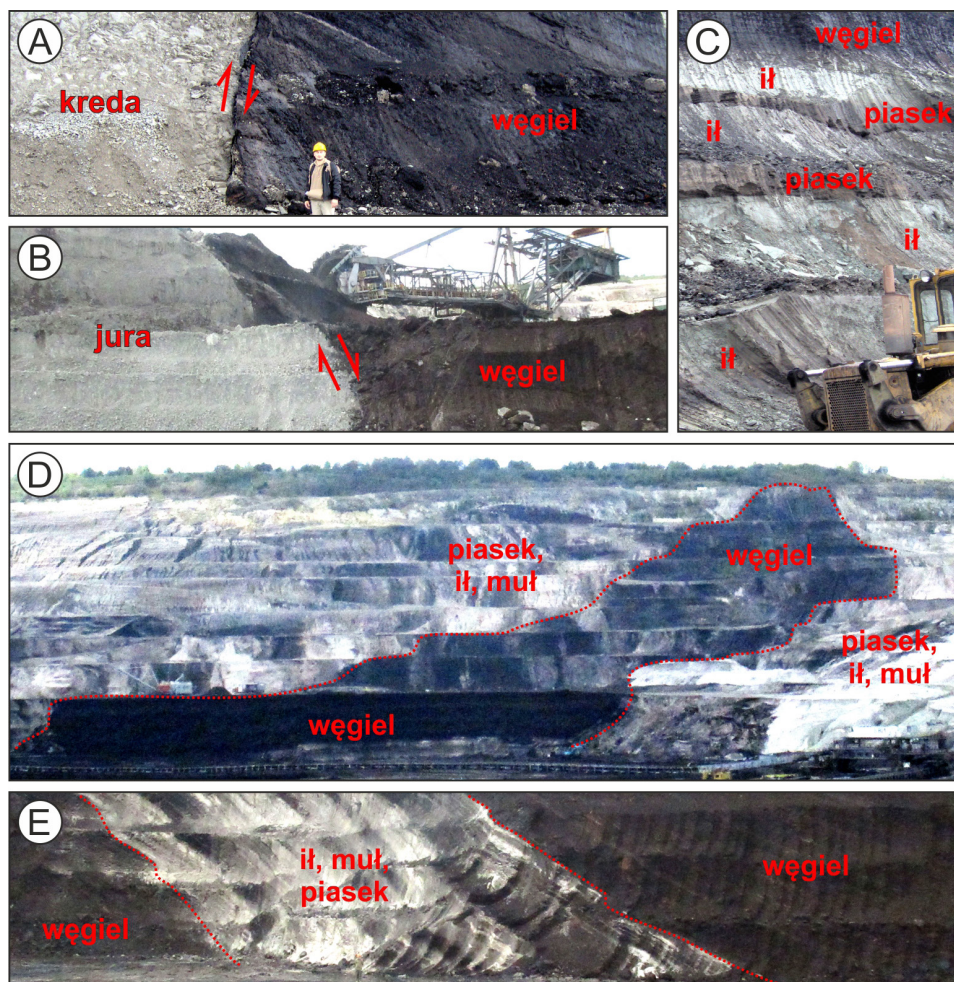
- jako w jedynym złożu w Polsce między otworami 59/19–63/19 na linii przekrojowej (ryc. 51) znaczna część pokładu (najprawdopodobniej 3. ścinawskiego) zalega na głębokości poniżej 350 m, czyli nie spełnia podstawowych kryteriów bilansowości (tab. 13, Rozporządzenie... 2015);
- odkrywka Bełchatów (złożo „Bełchatów”) była najgłębszą odkrywką węgla brunatnego w Europie, gdzie eksploatacja była prowadzona do głębokości około 310 m od powierzchni terenu;
- KWB Bełchatów jest liderem w wydobyciu węgla brunatnego w Polsce; w 2019 roku ponad 77% polskiego węgla brunatnego pochodziło ze złóż „Bełchatów” – 4,4 mln ton i „Szczerców” – 36,4 mln ton (tab. 11);
- KWB Bełchatów jest także zdecydowanym liderem wśród polskich kopalń węgla brunatnego w zagospodarowaniu kopalnin towarzyszących (Ratajczak, Hycnar 2017);
- obszar eksploatowanych złóż bełchatowskich („Bełchatów” i „Szczerców”) pełen jest różnych osobliwości geologicznych (ryc. 52–55), które zostaną krótko omówione i pokazane poniżej.



Ryc. 51. Podłużny przekrój geologiczny przez środkowy fragment rowu Kleszczowa – złoża węgla brunatnego „Szczerców” i „Bełchatów” (za: Gotowała, Hałuszczak 2002, Wiedera, Hałuszczak 2011, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 50

Ze względu na fakt, że rów Kleszczowa jest względnie wąską (2–3 km) i głęboką (ponad 500 m) strukturą tektoniczną, a znaczna część pokładów węglowych zalega poniżej stropu mezozoiku występującego w otoczeniu, to skały jurajskie i kredowe odsłaniają się w wyrobiskach kopalnianych (ryc. 52A, B). Kontakt między skałami mezozoicznymi a neogeńskimi, głównie węglem brunatnym, jest wyraźnie tektoniczny. Łatwo można dostrzec poddarcie warstw węgla w sąsiedztwie uskóków, które są zarówno odwrócone, jak i normalne. Maksymalny zrzut stropu



Ryc. 52. Przykłady osadów i ich deformacji z odkrywek Bełchatów i Szczerców (KWB Bełchatów, lata 2009–2018, fot. M. Widera)

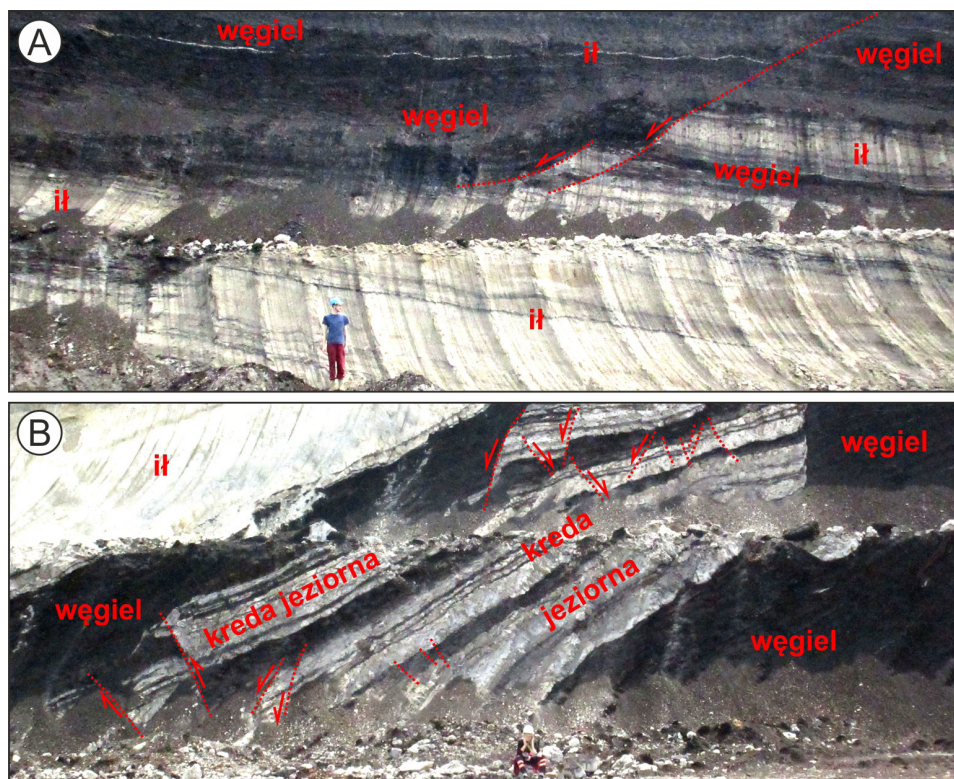
A, B – kontakt tektoniczny (wzdłuż uskoków) między skałami mezozoicznego podłoża i pokładem węglowym (A – odkrywka Bełchatów, 2009 rok; B – odkrywka Szczerców, 2018 rok); C – przewarstwiające się osady ilaste i piaszczyste z węglem brunatnym w stropie (odkrywka Bełchatów, 2009 rok); D, E – strome zaleganie węgla i osadów klastycznych w pobliżu wysadu solnego „Dębiny” (odkrywka Bełchatów, lata 2017–2018)

mezozoiku wzdłuż tych uskoków ocenia się na 200–300 (Widera, Hałaszcak 2011, Widera 2016b). W brzeżnych partiach złoża „Bełchatów” można też było zaobserwować naprzemiennie występujące warstwy iłów i piasków (ryc. 52C). W kierunku strefy osiowej rowu przechodzą one w ropy, a następnie w węglem pokład A (najwyższe warstwy 2. lużyckiego pokładu), którego najmłodsze warstwy przykrywają omawiane osady klastyczne. W niższych partiach kompleksu węglowego podobnie wykształcone osady klastyczne przechodzą facjalnie

(sedymentacyjnie) w gytie, kredę jeziorną i węgiel brunatny. Wspomniane piaski (lokalnie też żwiry), zazębiające się z ilami, zostały wstępnie zinterpretowane jako delty stożków napływowych, które wkraczały na obszar jezior występujących okresowo na powierzchni torfowiska (Słomka i in. 2000). Poprzez analogię do złóż „Tomisławice” i „Pątnów IV”, scharakteryzowanych powyżej (patrz rozdz. 6.3.6 i 6.3.7), wolno stwierdzić, że są to osady co najmniej kilku generacji stożków krewasowych lub mikrodelty krewasowych. Z kolei ility (i muły), ze względu na charakterystyczne spękania zwane „ilami kostkowymi”, to typowy osad jeziorny. W przypadku, kiedy ich barwa jest ciemna, świadcząca o niedoborze tlenu (warunki dystroficzne), można je nazwać „dy” (Wagner, Drobnik 2000). Natomiast w strefie jeziora lepiej natlenionej powstawały gytie (gytie organiczne, gytie wapienne) oraz kreda jeziorna (Wagner i in. 2000, Wagner, Matl 2007). Takich przewarstwień niewęglowych wśród węgla brunatnego, głównie w pobliżu południowej i północnej krawędzi rowu tektonicznego, stwierdzono wiele (ryc. 50, Mastej i in. 2015). W najbardziej zachodniej części odkrywki Bełchatów dobrze widać zaburzenie osadów wypełniających rów Kleszczowa, w tym węgla brunatnego, wywołanych syn- i postsedymentacyjnym wznoszeniem wysadu solnego „Dębiny”. Znajduje to wyraz w wypiętrzeniu (aż do powierzchni terenu) i stromym nachyleniu warstw węgla i towarzyszących im osadów klastycznych (porównaj ryc. 51 i 52D, E).

Rów Kleszczowa jako najgłębsza kenozoiczna struktura tektoniczna, gdzie prowadzona jest eksploatacja węgla brunatnego, jest także doskonałym miejscem do prowadzenia badań tektonicznych. Bogactwo struktur tektonicznych, ciągłych i nieciągłych, jest ogromne, co znalazło wyraz w wielu publikacjach (np. Gotowała, Hałuszczak 2002, Widera, Hałuszczak 2011, Widera 2013, 2016b). Oprócz deformacji tektonicznych pokazanych w wymienionych publikacjach i na rycinie 52 warto także pokazać dwie bardzo czytelne grupy deformacji z odkrywki Szczerców (ryc. 53). Rozwinęły się one w różnym reżimie tektonicznym. Uskoki normalne, na kontakcie węgla i ilów międzywęglowych, powstały w reżimie ekstensyjnym nad antyklinarną częścią fałdu wielkopromiennego, gdzie dochodziło do rozciągania (ryc. 53A, okładka – górna rycina). Natomiast druga grupa deformacji, tj. uskoki normalne i odwrócone w kredzie jeziornej, usytuowane są w synklinarnej części fałdu wielkopromiennego. W miejscu tym dochodziło do ściskania warstw skalnych, czyli kompresji, o czym świadczy obecność uskoków odwróconych (ryc. 53B).

Na obszarze złóż bełchatowskich występują też osady, których brak w innych polskich złóżach węgla brunatnego lub są najlepiej wykształcone. Podobnie jak węgiel ze złoża „Turów”, również węgiel ze złoża „Bełchatów” jest silnie żzelifikowany (ryc. 54A). O ile w pierwszym przypadku na podwyższonej żzelifikację wpływ miał wyższy stopień geotermiczny (wulkanizm oligoceńsko-mioceniński), o tyle w odniesieniu do złoża „Bełchatów” była to podwyższona zawartość węgla wapnia (CaCO_3) dostarczanego wraz z wodami spływającymi na obszar rowu Kleszczowa (Wagner 1996, Mastej i in. 2015). Występowanie piaskowców kwarcytowych (kwarcyticznych) jest zjawiskiem powszechnym w złóżach węgla brunatnego (patrz ryc. 41E, F). Niemniej obecność zlepieńców kwarcytowych, takich jak w złóżach bełchatowskich, jest unikatowa w skali kraju. Są to bruki

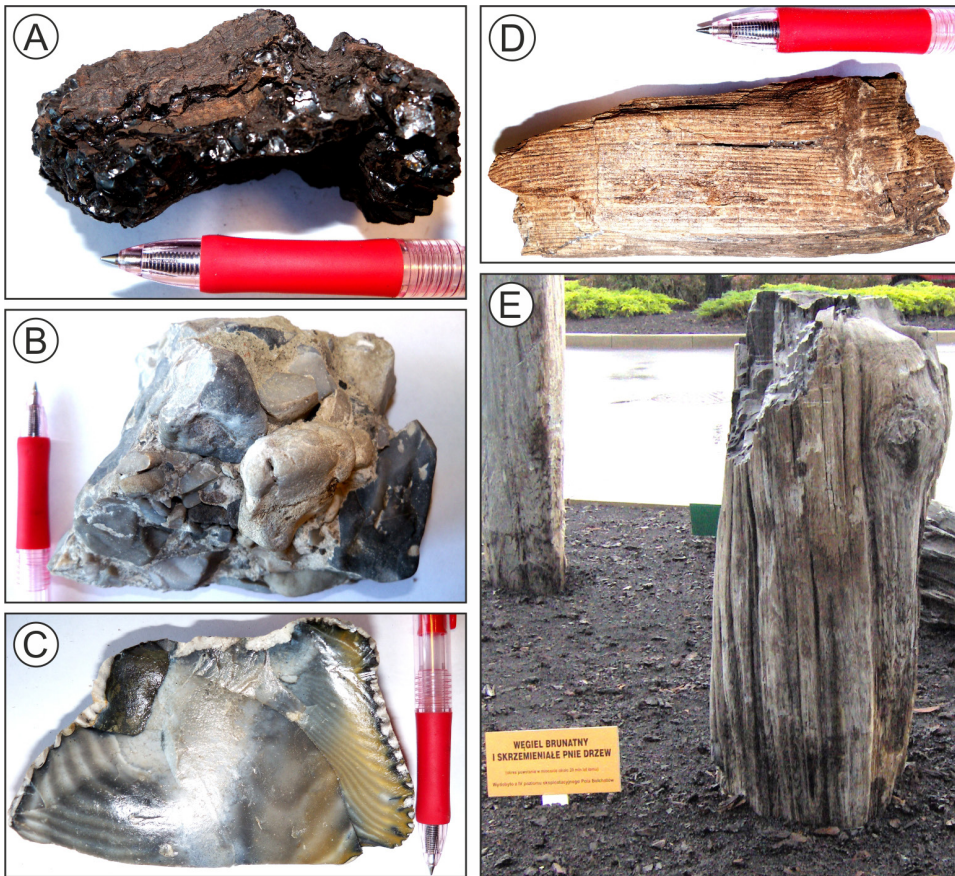


Ryc. 53. Przykłady deformacji tektonicznych węgla i osadów międzywęglowych z odkrywki Szczerców (KWB Bełchatów, 2018 rok, fot. M. Widera)

A – uskoki normalne wśród iłów międzywęglowych; A – uskoki normalne i odwrócone wśród osadów kredy jeziornej

krzemienne (ryc. 54B), które zostały zsylikowane (skrzemionkowane) w wyniku postsedymentacyjnych procesów glebowych (Górniak i in. 1996, Bahranowski i in. 1997). Wspomniane bruki krzemienne występują głównie w spągu kompleksu ilasto-piaszczystego, tworząc tzw. „powierzchnię mycia” (Adamczyk i in. 2012, Ratajczak, Hycnar 2017). Niektóre z nich tworzą pięknie wykształcone krzemienie pasiaste (ryc. 54C), które najprawdopodobniej pochodzą z otaczających rów Kleszczowa wapieni górnourajskich. Warto też wspomnieć o skrzemieniałych fragmentach drewna roślinności torfotwórczej, tj. ksylytach, od małych gałązek do pni o średnicy ponad 0,5 m (ryc. 54D, E). Wymienione piaskowce i zlepieńce kwarcytowe, bruki krzemienne i skrzemieniałe drzewa stanowią wielką wartość kolekcjonerską, ale także bardzo utrudniają prace górnicze, gdyż należą do utworów trudnourabialnych.

Omawiając geologię bełchatowskich złóż węgla brunatnego, nie można pominąć tzw. kopalni towarzyszących. To właśnie w KWB Bełchatów od lat 90. XX wieku w sposób zaplanowany i systematyczny prowadzi się gospodarkę kopalni, które przy okazji odślaniania i eksploatacji węgla można selektywnie wydobyć,



Ryc. 54. Przykłady osobliwości geologicznych z obszaru złoże „Bełchatów” (KWB Bełchatów, lata 2009–2012, fot. M. Widera)

A – silnie żżelifikowany fragment ksylitu; B – zlepianiec kwarcytowy (kwarcyczynny); C – krzemień pasiasty; D, E – skrzemieniałe ksylity

co ma też uzasadnienie ekonomiczne. Na obszarze złóż „Bełchatów” i „Szczerców” udokumentowano, liczone w milionach ton, zasoby następujących kopalin: torfów, piasków i żwirów, głązów narzutowych, surowców ilastych, pospółki piaszczysto-żwirowej (bruków krzemiennych), piaskowców i zlepieńców kwarcytowych, kredy jeziornej i wapieni (Wiśniewski 2000, Adamczyk i in. 2012). Ich znaczna część jest składowana na zwalach i poddawana odpowiedniej przeróbce (ryc. 55), a następnie wykorzystywana przez kopalnię i sprzedawana odbiorcom zewnętrznym. W ofercie znajdują się: kruszywa mineralne (pospółka piaszczysto-żwirowa i krzemienista, tłucznie, kłińce i grysy granitowe, wapienne i kwarcytowe), piasek naturalny (o dużej czystości), surowce ilaste (wolne od zanieczyszczeń i o dużej różnorodności parametrów chemicznych, mineralogicznych i technologicznych) oraz ziemia humusowa. Kopalnia oferuje też dla celów rolnictwa ekologicznego wapno nawozowe Eko-Calcium, które jest zmieloną kredą



Ryc. 55. Zwały kopalin towarzyszących w Zakładzie Produkcji Kruszyw w Chabielicach, odkrywka Szczerców (KWB Bełchatów, 2018 rok, fot. M. Widera)

A – sortownia oraz zwały piasku i żwiru; B – zwał pospółki piaszczysto-żwirowej, tzw. bruków krzemienych; C – zwał torfu

jeziorną. Więcej o kopalinach towarzyszących polskiemu złożom węgla brunatnego i możliwych kierunkach ich wykorzystania zainteresowany czytelnik może dowiedzieć się z obszernego opracowania Ratajczaka i Hycnar (2017).

Węgiel w dzisiejszym złożu „Bełchatów”, podobnie jak w okolicach Turku (poszukiwania ropy naftowej), odkryto przy okazji poszukiwań gazu ziemnego w 1960 roku. Wtedy w miejscowości Piaski, w otworze Geo2-89/15, nawiercono kilkudziesięciometrowej grubości pokład węgla brunatnego (Adamczyk i in. 2012). Już w 1961 roku oszacowano wstępnie, jak się później okazało, bardzo trafnie, zasoby złóż bełchatowskich („Bełchatów”, „Szczerców” i „Kamieńsk”) na ponad 2 mld ton (Kasztelewicz 2004). Szybko podjęto decyzję o budowie wielkiego kompleksu górniczo-energetycznego, tj. elektrowni i kopalni o docelowej zdolności wydobycia sięgającej 38,5 mln ton. O ile złoża „Bełchatów” i „Szczerców” cechowały się zbliżoną wielkością zasobów bilansowych (ok. 1,27 mld ton i ok. 824 mln ton), podobnymi parametrami geologiczno-górnictwymi (średnia grubość węgla ponad 50 m i N:W = 2,6–3,2), to złożo „Kamieńsk” o zasobach bilansowych około 132 mln ton, średniej miąższości węgla około 18 m i N:W > 9 uznano za nieprzydatne przemysłowo (Gajda i in. 1964). Tak więc w 1980 roku wydobyto pierwsze tony węgla ze złoża „Bełchatów”, a w 1981 roku uruchomiono elektrownię Bełchatów. Natomiast eksploatację węgla ze złoża „Szczerców” rozpoczęto w 2009 roku. Węgiel ze złóż bełchatowskich cechuje się zróżnicowaniem podstawowych parametrów chemiczno-technologicznych (tab. 25). Jego wartość opałowa jest średnia, gdyż mieści się w przedziale 8,2–9,1 MJ/kg. Wpływ na to ma na pewno dość wysoka zawartość popiołu, tj. 19,8–25,8%. Niemniej jednak bardzo duże zasoby i bardzo korzystne wartości N:W, zwłaszcza w złożach „Bełchatów” i „Szczerców”,

Tabela 25. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych węgla ze złóż bełchatowskich (za: Gajda i in. 1964)

Pole	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
„Bełchatów”	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	9,1
	popielność (A^d)	%	19,8
	zawartość siarki (S_t^d)	%	1,1
	N:W	–	3,2
„Szczerców”	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	8,4
	popielność (A^d)	%	24,6
	zawartość siarki (S_t^d)	%	2,1
	N:W	–	2,6
„Kamieńsk”	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	8,2
	popielność (A^d)	%	25,8
	zawartość siarki (S_t^d)	%	1,0
	N:W	–	9,2

sprawiają, że należą one do najcenniejszych w Polsce. Należy też dodać, że rozkład siarki w bełchatowskich złóżach jest bardzo nierównomierny, chociaż wartości uśrednione mieszczą się w przedziale 1–2,1% (tab. 25). Dlatego węgiel dostarczany jest do elektrowni z różnych partii złoza/złóż w celu uśrednienia wartości opałowej i zawartości siarki (Kasztelewicz 2004). Wreszcie należy dodać, że KWB Bełchatów ma aktualne koncesje na eksploatację węgla ze złoza „Bełchatów” do 2026 roku, a ze złoza „Szczerców” do 2038 roku. Warto wspomnieć, że eksploatacja złoza „Kamieńsk” nie jest możliwa w przyszłości ze względu na usytuowanie na nim zwałowiska zewnętrznego dla nadkładu ze złoza „Bełchatów”, tj. Góry Kamieńskiej, zwyczajowo nazywanej Górą Kamieńsk.

6.4.9. „Złoczew”



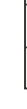
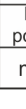
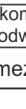

Złoże węgla brunatnego „Złoczew” (o orientacji WSW–ENE) zlokalizowane jest w południowo-zachodniej części województwa łódzkiego, około 5–10 km na południe i południowy zachód od Złoczewa i, co ważne w kontekście wykorzystania węgla z tego złoza, około 50 km na WNW od elektrowni Bełchatów (ryc. 18). Pod względem geomorfologicznym są to południowe tereny Wysoczyzny Złoczewskiej. Natomiast geologicznie obszar ten należy do monokliny przedsudeckiej (Żelaźniewicz i in. 2011).

Strop mezozoiku w podłożu złoza „Złoczew” i w jego bliskim otoczeniu zbudowany jest przede wszystkim ze skał górnej jury, sporadycznie też z reliktyw skał górnokredowych, wykształconych jako wapienie, margle i mułowce. W osiowej strefie obniżenia tektonicznego (rów Złoczewa) mezozoik zalega na rzędnych około 160 m p.p.m., a wokół niego wznosi się do rzędnych około 110–140 m n.p.m. (Żygar 1979, Sawicki 2010). Wyżej zalega kompleks osadów kenozoicznych (paleogeńskich i czwartorzędowych) o łącznej miąższości mieszczącej się w przedziale 70–350 m.

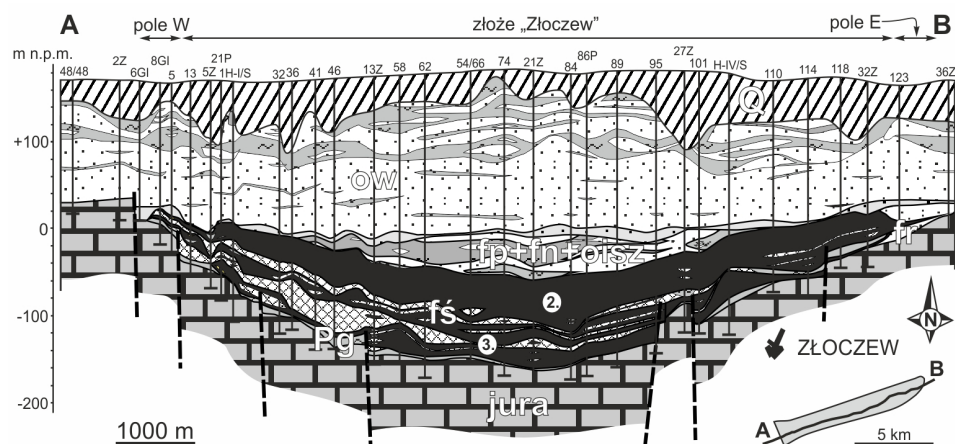
Litostratygrafia na obszarze złoża „Złoczew” jest podobna jak na obszarze złóż bełchatowskich, chociaż występują duże różnice miąższościowe (porównaj ryc. 50, 51, 56 i 57). Dlatego można byłoby zrezygnować z omawiania tego złoża w tej monografii, gdyby nie dwa ważne powody. Po pierwsze, obecnie (lipiec 2021 roku) decyduje się sprawa przyznania KWB Bełchatów decyzji środowiskowej na budowę odkrywki i eksploatację węgla z tego złoża. Po drugie, złożo „Złoczew” wskazano jako pierwsze w Polsce do uruchomienia instalacji podziemnego zgazowania węgla (Urbański, Saternus 2017, Urbański, Widera 2020).

Kompleks podwęglowy w złożu „Złoczew” nie tworzy ciągłej pokrywy, a jego miąższość rzadko przekracza kilka metrów. Paleogen nierozdzielony stanowią brekcje i zwierzeliny skał mezozoicznych w postaci ilów i mułów. Natomiast piaski podwęglowe, zaliczane do formacji rawickiej, występują sporadycznie. Wyżej zalega kompleks węglowy (formacja ścinawska) składający się z 3. ścinawskiego i 2. łużyckiego pokładu węglowego oraz licznych i rozległych przewarstwień w postaci gytii i/lub kredy jeziornej, szczególnie w dolnej części tego kompleksu (ryc. 56). Ponad nim występuje kompleks ilasto-węglowy, z soczewami węgla 1. środkowopolskiego pokładu, który jest odpowiednikiem litostratygraficznym formacji pawłowskiej, naramowickiej (dawniej formacji adamowskiej) i ogniwa „iłów szarych”. Profil neogenu kończy miąższy i ciągły kompleks ilasto-piaszczysty, który można korelować z ogniwem wielkopolskim na pozostałym obszarze Niżu Polskiego (ryc. 56). Wszystko przykryte jest czwartorzędem, który w części zachodniej złoża „Złoczew” wykształcony jest w przewadze z piasków i żwirów wodnolodowcowych, a w jego części środkowej i wschodniej zdecydowanie przeważają gliny lodowcowe (Żygar 1997, Urbański, Widera 2020).

Omawiane złożo węgla brunatnego wypełnia wschodnią część tzw. rowu Złoczewa (Deczkowski, Gajewska 1980, Gotowała, Hałuszczak 2002, Kasiński 2004). Jest on około 15 km długi, 1–1,5 km szeroki, do 350 m głęboki i ma orientację WSW–ENE (Borowicz i in. 2007). Natomiast wypełniające go złożo węgla ma 9,8 km długości i 1,3 szerokości (Urbański, Saternus 2017). Bilansowy pokład węgla, w rzeczywistości 2 pokłady często występujące bezpośrednio na sobie, wypełnia najgłębsze części rowu Złoczewa (ryc. 57). Pokłady te są przewarstwione głównie gytia/kredą jeziorną o miąższości nawet ponad 20 m, tworząc czasami kilka ław węglowych. Sumaryczna grubość węgla w złożu „Złoczew” mieści się

Litostratygrafia dla obszaru rowu Złoczewa	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chro-nostraty-grafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry)	czwartorzęd
kompleks ilasto-piaszczysty		og. wielkopolskie	pliocen górny
kompleks ilasto-węglowy		og. ilów szarych, form. naramowicka, i form. pawłowska	
kompleks węglowy		formacja ścinawska	środkowy
kompleks podwęglowy		gytia, kreda jeziorna	
mezozoik		formacja rawicka	dolny
		paleogen nierozdzielony	m i o c e n
		jura (wapień, mulowce) kreda (margle)	

Ryc. 56. Litostratygrafia osadów paleogeońsko-neogeońskich na obszarze złoża „Złoczew” (za: Urbański, Widera 2020)
Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24



Ryc. 57. Podłużny przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Złoczew” (za: Urbański, Widera 2020, zmienione)
Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 56

w przedziale 16,1–114,4 m, a średnio wynosi 46,2 m. Generalnie cechuje się on podobnymi parametrami chemiczno-technologicznymi jak węgiel ze złóż bełchatowskich, natomiast ma lepsze parametry geologiczno-górnictwa, tj. niższy stosunek N:W (porównaj tab. 25 i 26).

Tabela 26. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwa węgla ze złoże „Złoczew” (za: Kasztelewicz i in. 2009)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
2. łużycki i 3. ścinawski	wartość opałowa (Q^r)	MJ/kg	8,5
	popielność (A^d)	%	21,7
	zawartość siarki (S^d)	%	1,2
	N:W	–	4,5

Węgiel brunatny w okolicy Złoczewa nawiercono w otworze 57/73, który wykonano na przełomie 1961 i 1962 roku. Sumaryczna grubość 3 ław węglowych wynosiła 46,4 m, co skutkowało wykonaniem kolejnych 63 otworów w latach 60–70. XX wieku (Borowicz i in. 2007). Następne badania, na podstawie koncesji na rozpoznanie i udokumentowanie złoże węgla brunatnego „Złoczew”, przeprowadzono w latach 2010–2012 poprzez odwiercenie 272 otworów. Uszczegółowiono rozpoznanie budowy geologicznej i generalnie potwierdzono wcześniejsze prognozy dotyczące ilości (zasoby przemysłowe ok. 485 mln ton, Kasiński i in. 2006) i jakości węgla znajdującego się w tym złoże (tab. 26). Złoże „Złoczew” jest traktowane jako satelickie dla złóż bełchatowskich (Tajduś i in. 2014). KWB Bełchatów już w 2018 roku otrzymała pozytywną decyzję środowiskową dla przyszłej odkrywki Złoczew. Decyzja ta została jednak oprotestowana przez organizacje ekologiczne, co skutkuje tym, że do lipca 2021 roku postępowanie odwoławcze nie zostało rozstrzygnięte. Należy dodać, że bez pozytywnej decyzji środowiskowej kopalnia nie

może starać się o koncesję na odkrywkową eksploatację węgla z tego złoża. Równoległe prowadzono prace badawcze nad wykorzystaniem pozabilansowych części złoża „Złoczew” (pola W, E i N – niewidoczne na przekroju geologicznym, ryc. 57) metodami niekonwencjonalnymi, tj. podziemnego zgazowania węgla (ang. *underground coal gasification* – UCG). W ten sposób można byłoby zagospodarować dodatkowo nawet około 15 mln ton węgla, który nie zostałby wydobyty odkrywkowo (Urbański, Saternus 2017). W świetle pewnej budowy odkrywki, jak się pozornie wydawało, zasugerowano uruchomienie instalacji UCG po zakończeniu eksploatacji metodą konwencjonalną (odkrywkową) węgla ze złoża „Złoczew”. Pozwoliłoby to na weryfikację danych otworowych w odkrywce kopalnianej, zwłaszcza zbadanie szczelności hydraulicznej skał nadkładu. Gdyby istniała ciągłość warstw ilastych, mułowych, glin lodowcowych oraz ich odpowiednia miąższość, to w pełni uzasadnione byłoby zbudowanie pierwszej w Polsce instalacji UCG zarówno pilotażowej, jak i komercyjnej (Urbański, Widera 2020).

6.4.10. „Rogóżno”

Złoże węgla brunatnego „Rogóżno” występuje około 10–15 km na północ od Łodzi, w łódzko-bełchatowskim regionie węglonośnym (ryc. 18). Znajduje się ono na pograniczu Wysoczyzny Łaskiej, Wzniesień Łódzkich i Równiny Łowicko-Błońskiej. Natomiast pod względem tektonicznym złożo jest położone na granicy segmentu mogileńsko-łódzkiego (synklinorium szczecińsko-miechowskie) i segmentu kujawskiego (antyklinorium śródpolskie) (Żelaźniewicz i in. 2011).

Złożu „Rogóżno” warto poświęcić trochę uwagi z co najmniej czterech względów:

- jest to jedyne duże złożo (o zasobach geologicznych ok. 623 mln ton) w całości zalegające nad dużym (drugim po kłodawskim) wysadem solnym (Kasiński i in. 2009);
- w złożu tym występują 2 bilansowe pokłady węgla brunatnego, tj. 5. czempiński i 2. łuzycycki;
- jest to jedyne złożo, gdzie kryteria bilansowości spełniają węgle paleogeńskie, zaliczane do 5. czempińskiej grupy pokładów;
- wydzielenia litostratygraficzne na omawianym obszarze są niepewne, ale prawdopodobnie obejmują najszerszy przedział czasowy wśród wszystkich złóż omawianych w tej monografii (ryc. 58); wynika to z dużych różnic w miąższości i litologii osadów między sąsiednimi otworami, co zapewne spowodowane było nierównomierną subsydencją powierzchni depozycyjnej.

Podłoże podkenozoiczne zbudowane jest z residuum soli czeszczyńskich, czyli czapy ilasto-anhydrytowo-gipsowej. Natomiast w brzeźnych partiach złoża i w jego otoczeniu występują następujące jurajskie i kredowe typy litologiczne skał: margle, mułowce, iłowce i piaskowce. Kenozoik rozpoczynają osady lądowe, o składzie sporowo-pyłkowym charakterystycznym dla paleocenu, co upoważnia (jeśli występują w pozycji pierwotnej, tj. nie były redeponowane) do korelowania ich z formacją odrzańską (Kasiński 2004). Wyżej zalegające ility, muły, piaski glaukonitowe i węgle brunatne (dolny pokład) reprezentują dolnoooligoceńskie formacje:

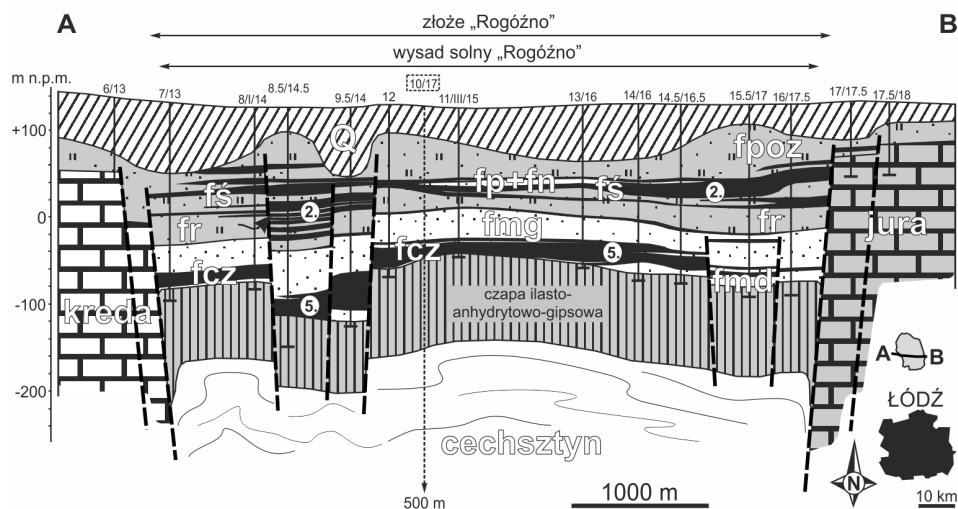
Litostratygrafia dla obszaru złoże „Rogóżno”	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwiry, muły)	pliocen
formacja poznańska pokład środkowopolski?		formacja poznańska	górny środkowy dolny m i o c e n
form. adamowska pokład górny		form. naramowicka, form. pawłowicka	
formacja ścinawska		formacja ścinawska	
form. rawicka		formacja rawicka	dolny oligocen
form. mosińska górna pokład dolny		form. mosińska górna	
form. czempińska		form. czempińska	
form. mosińska dolna form. odrzańska?		form. mosińska dolna form. odrzańska?	
mezozoik, paleozoik		kreda, jura (margle, mułowce, iłowce, piaskowce) cechsztyń (sól kamienna), czapa ilasto-anhydrytowo-gipsowa	paleocen?

Ryc. 58. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złoże „Rogóżno” (za: Kasiński 2004, zmienione)
Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

mosińską dolną, czempińską i mosińską górną (ryc. 58). Wspomniany pokład, o średniej miąższości 16,5 m (maksymalnie 53 m) należy do 5. czempińskiej grupy pokładów – formacja czempińska. Ponad paleogenem zalegają osady neogeńskie, które są bardzo zróżnicowane miąższościowo. W spągu neogenu są to piaski różnoziarniste z przewarstwieniami mułów, ilów i soczewkami węgla brunatnych o grubości do 120 m (średnio ok. 50 m), które mogą być korelowane z formacją rawicką. Wyżej zalega tzw. pokład górny, tj. 2. lużycki, którego spągowe warstwy reprezentują być może też 3. ścinawski pokład węglowy (Kasiński 2004). Średnia miąższość tego pokładu (często rozdzielającego się na kilka ław węglowych) wynosi 19,1 m, a maksymalnie dochodzi do 44 m (Kaszelewicz, Zajczkowski 2011). Pokład górny, wraz z przewarstwieniami klastycznymi, reprezentuje formację ścinawską. Wyżej zalegają osady piaszczyste, o średniej miąższości około 10 m, które odpowiadają połączonym formacjom pawłowickiej i naramowickiej, dawnej adamowskiej. Profil neogenu kończy kompleks osadów ilasto-mułowo-piaszczystych z warstwami węgla (mniej niż 4 m) w spągu (1. środkowopolski pokład?), których miąższość waha się od 0 do kilkudziesięciu metrów, a średnio wynosi około 20 m. Osady te należy zaliczyć do nierozdzielonej formacji poznańskiej. Na niej spoczywa glacygeniczny czwartorzęd (piaski, żwiry, gliny lodowcowe) o miąższości 40–100 m (ryc. 58), a w rynnach subglacialnych może dochodzić do około 150–200 m (Kasiński i in. 2009).

Cały dolny i dominująca część górnego pokładu w złoże „Rogóżno” zalega nad wysadem solnym. Czapa ilowo-anhydrytowo-gipsowa, o grubości ponad 100 m, występuje na głębokości od 150 do 250 m od powierzchni terenu. Natomiast zwierciadło soli nawiercono na głębokości około 200–350 m. Od strony wschodniej złoże otoczone jest przez skały jurajskie, których strop występuje na rzędnych około 100 m n.p.m., od strony zachodniej występują skały kredowe, które wzniesione są na wysokość około 80 m n.p.m. (ryc. 59). Paleogen, o sumarycznej miąższości ponad 100 m, występuje tylko w największym obniżeniu powierzchni podkenozoicznej, tj. nad wysadem solnym „Rogóżna”. Niemniej jednak osady

paleogeńskie, w tym pokład dolny (5. czempiński), są silnie zdeformowane, co wyraża się w ich kilkudziesięciometrowych zrzutach między sąsiednimi otworami, np. 8/14 i 8.5/14.5 oraz 9.5/14 i 12. Zalegające wyżej osady neogeńskie, z pokładem górnym (2. łuzycykim), nad wysadem solnym osiągnęły grubość do 100–150 m, a w jego otoczeniu mają średnio niespełna 50 m. Różnice w wysokości zalegania kolejnych typów litologicznych skał między sąsiednimi otworami w niektórych przypadkach dochodzą nawet do 40 m, np. między wymienionymi wyżej otworami. Wyraża się to także w rozszczepieniu na liczne ławy pokładu górnego, tj. na 4 ławy w otworze 8/14 i na 8 ław węglowych w otworze 8.5/14.5 (ryc. 59).



Ryc. 59. Przekrój geologiczny przez złoża węgla brunatnego „Rogóźno” (za: Widera 2016c, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 58

Węgiel brunatny w pobliżu wsi Rogóźno odkryto w otworze Rogóźno PIG-I już w 1948 roku. W osadach paleogeńsko-neogeńskich nawiercono wtedy odpowiednio 2 pokłady węglowe, których miąższość wynosiła 30 i 46 m. Poniżej osadów węglonośnych kenozoiku stwierdzono czapę ilasto-anhydrytowo-gipsową i sól kamienną (Ciuk 1961). W kolejnych latach wykonano kilkakrotnie wiercenia w celu udokumentowania zarówno cechsztyńskich soli, jak i kenozoicznych węgla brunatnych. Łącznie na obszarze złoża „Rogóźno” odwiercono 424 otwory badawcze. W ten sposób zasoby bilansowe węgla oszacowano na około 623 mln ton, z tego około 410 mln ton w pokładzie górnym (Kasztelewicz i in. 2009). W latach 50. XX wieku, ze względu na głębokość zalegania (do blisko 200 m), brano pod uwagę najpierw głębinową, a później odkrywkową eksploatację węgla z tego złoża (Ratajczak, Hycnar 2017). Oba pokłady węglowe łącznie cechują się bardzo dobrą wartością opałową i niestety wysoką zawartością siarki (tab. 27). Ponadto dolny pokład zawiera też znaczne ilości alkaliów (Ciuk 1961). Dlatego, ze względu na znaczne zasolenie i podwyższoną zawartość siarki, zaniechano

Tabela 27. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwa węgla ze złoże „Rogóżno” (za: Kasztelewicz i in. 2009)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
2. łużycki i	wartość opałowa (Q^r)	MJ/kg	9,3
	popielność (A^d)	%	21,7
5. czempiański	zawartość siarki (S^d)	%	2,3
	N:W	–	4,3

wydobycia węgla. Do wykorzystania węgla ze złoże „Rogóżno”, ale bez pokładu dolnego, powrócono pod koniec pierwszej dekady XXI wieku. Zaproponowano wtedy, że około 325 mln ton węgla (zasoby przemysłowe) z górnego pokładu, cechującego się względnie niskim zasoleniem i zasiarczeniem, można byłoby zagospodarować konwencjonalnie (spalić w elektrowni) albo zgazować w technologii podziemnej lub naziemnej (Kasztelewicz, Zajączkowski 2011). Autorzy ci brali pod uwagę najpierw KWB Adamów, a następnie (po 2030 roku) także KWB Bełchatów. Ze względu na definitywne zamknięcie KWB Adamów w 2021 roku, wykorzystaniem węgla brunatnego ze złoże „Rogóżno” mogłaby zainteresować się w przyszłości wyłącznie KWB Bełchatów lub inny inwestor.

6.4.11. „Szamotuły”

Złoże węgla brunatnego „Szamotuły” położone jest około 10–30 km na północny zachód od Poznania (ryc. 18). Prawie w całości obejmuje ono obszar Wysoczyzny Poznańskiej. Natomiast pod względem tektonicznym są to tereny dawnej elewacji obornickiej, a według aktualnego podziału Polski na jednostki tektoniczne złoże „Szamotuły” należy do fałdów Drawno–Poznań, które oddzielają segmenty szczecińsko-gorzowski i mogileńsko-lódzki w obrębie synklinorium szczecińsko-miechowskiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Na omawianym obszarze litostratygrafia neogenu, a w mniejszym stopniu paleogenu, jest prawie kompletna. Oznacza to, że większość jednostek w randze formacji i ogniów znanych z całego obszaru Niżu Polskiego można także wskazać na obszarze złoże „Szamotuły” (porównaj ryc. 20 i 60). Kenozoiczną sukcesję osadową rozpoczynają morskie piaski i piaskowce glaukonitowe, które tylko sporadycznie przedzielone są przez osady lądowe z soczewkami węgla brunatnego 5. grupy pokładów. Dlatego te trudne do litologicznego rozróżnienia osady zostały w tej monografii wydzielone jako paleogen nierozdzielony wieku wczesnooligocenckiego. Wyżej zalega neogen charakteryzujący się kompletnością litostratygraficzną (ryc. 60). Stąd w tym miejscu podane zostaną wyłącznie najważniejsze informacje dotyczące produktywnych pokładów węgla brunatnego. W tym kontekście najważniejsza jest formacja ścinawska, która w spągu zawiera 3. ścinawski, a w stropie 2. łużycki pokład węglowy. Ten ostatni, o grubości dochodzącej do około 35 m, ma cechy bilansowe i tworzy złoże węgla brunatnego „Szamotuły”. Węglonośne jest też ogniwo ilów szarych, stanowiące dolną część formacji poznańskiej. W tym przypadku wśród mułów występują względnie

cienkie (od decymetrów do kilku metrów) 2 pokłady węgla, tj. starszy 1. śródkowopolski i młodszy, towarzyszący 1a. oczkowicki. Niemniej jednak pokłady te nie spełniają kryteriów bilansowości. Wyżej spoczywają „iły” ogniwa wielkopolskiego (górną część formacji poznańskiej) i glacialne osady czwartorzędowe (ryc. 60).

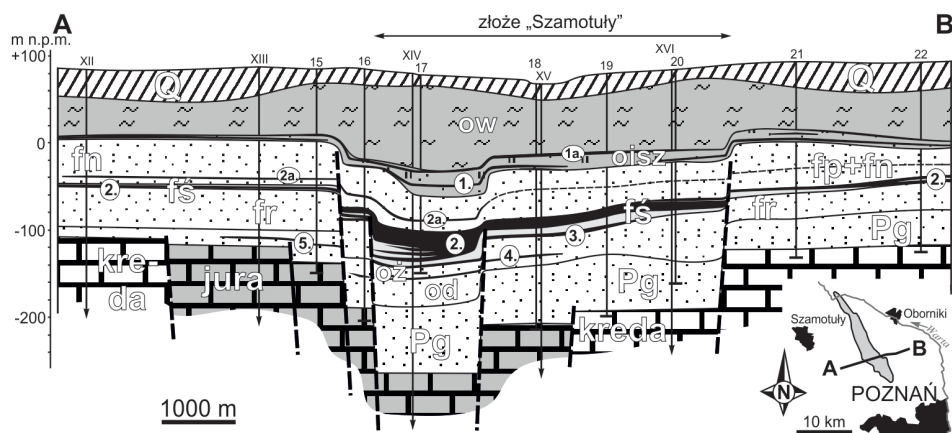
Złoże „Szamotuły” wypełnia strukturę tektoniczną (rów Szamotuł), która występuje w przegubie antykliny powstałej nad częściowo przebijającym się przez osady mezozoiczne tzw. diapirem solnym „Szamotuł” (Krzywiec 2006, Widera i in. 2019b). Głębokość rowu, obliczona jako różnica w wysokości zalegania skał mezozoicznych między strefą osiową a jego skrzydłami, wynosi około 160 m. Podłoże podkenozoiczne złoże „Szamotuły” zbudowane jest ze skał jurajskich i kredowych wykształconych głównie w postaci piaskowców węglanowych, gezy i opok, a podrzędnie jako piaskowce, margle i wapienie. Generalnie na skrzydłach rowu Szamotuł występuje kreda, a jura przeważa w osiowej strefie tej struktury (ryc. 61). Paleogen nierozdzielony, o miąższości do 60–80 m, jest silnie zdeformowany, a jego zrzućty między sąsiednimi otworami dochodzą do około 100 m. Dużymi zrzućtami (deniwelacjami) cechuje się też formacja ścinawska z produktywnym 2. łuzyckim pokładem węgla brunatnego. Jego średnia grubość w najgłębszych częściach rowu wynosi 20–30 m, a maksymalnie osiąga prawie 35 m. Warstwy węgla tego pokładu znajdują kontynuację na skrzydłach rowu, ale nie spełniają kryteriów bilansowości ($N:W > 20$), gdyż ich średnia miąższość nie przekracza 5 m, a grubość nadkładu mieści się w przedziale 120–140 m. Duże deniwelacje 2. łuzyckiego pokładu węgla brunatnego i osadów starszych, przypisano tektonice głębszego podłoża, tj. aktywności diapiru solnego „Szamotuł”. Natomiast deformacje osadów neogennych wyżej zalegających (formacje pawłowicka i naramowicka oraz spąg formacji poznańskiej) wyjaśniono głównie kompaktacją niżej występujących osadów węglonowych (ryc. 61, Widera i in. 2019b).

Występowanie węgla na północ od Poznania stwierdzono pod koniec lat 50. XX wieku, kiedy w poprzek anomalii grawimetrycznej wykonano kilkanaście otworów o głębokości ponad 500 m. W następnych latach w celu lepszego

Litostratygrafia dla obszaru złoże „Szamotuły”	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwirny, muły)	pliocen
form. poznańska ogniwo wielkopolskie		ogniwo wielkopolskie	górny m i o c e n
ogniwo iłów szarych		ogniwo iłów szarych	
form. naramowicka form. pawłowicka		formacja naramowicka formacja pawłowicka	środkowy
formacja ścinawska		formacja ścinawska	dolny
og. żarskie og. dąbrowskie		formacja rawicka	
paleogen nierozdzielony		form. mosińska górna form. czempińska form. mosińska dolna	dolny oligocen
mezozoik		kreda, jura (piaskowce wapieniste, gezy, opoki, piaskowce, margle, wapienie)	

Ryc. 60. Litostratygrafia osadów paleogennsko-neogennych na obszarze złoże „Szamotuły” (za: Widera 2004, Widera i in. 2019b, zmienione)

Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24



Ryc. 61. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Szamotuły” (za: Widera i in. 2019b, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 60

Tabela 28. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych węgla ze złoże „Szamotuły” (za: Ciuk 1978)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
2. łuzycy	wartość opałowa (Q_i^t)	MJ/kg	10,2
	popielność (A^d)	%	12,0
	zawartość siarki (S_i^d)	%	–
	N:W	–	7,2

rozpoznania złoże węglowe wykonano kolejne kilkadziesiąt otworów < 500 m (Widera i in. 2019b). Wstępnie określono zasoby perspektywiczne złoże „Szamotuły” na około 430 mln ton, przy średniej miąższości węgla 23 m. Już na tym etapie stwierdzono, że węgiel z tego złoże charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami chemiczno-technologicznymi (wysoka wartość opałowa) oraz dobrymi parametrami geologiczno-górnictwowymi (N:W = 7,2) (tab. 28). Później okazało się, że w złoże tym węgla jest znacznie więcej, a jego zasoby geologiczne wynoszą aż 746,3 mln ton (patrz tab. 11).

6.4.12. „Gostyń”

Złoże węgla brunatnego „Gostyń” zlokalizowane jest od kilku do kilkunastu kilometrów na zachód od Gostynia i około 50–70 km na południe od Poznania (ryc. 18). Obszar złoże znajduje się na Wysoczyźnie Leszczyńskiej, zaś tektonicznie należy do monokliny przedsudeckiej (Żelaźniewicz i in. 2011). Złoże „Gostyń”, wraz z wyżej scharakteryzowanym złoże „Szamotuły” oraz ze złożami „Naramowice”, „Poznań Miasto”, „Mosina”, „Czempiń Miasto”, „Czempiń” i „Krzywiń”, wypełnia strukturę tektoniczną, którą można określić wspólną nazwą rowów poznańskich (Kasiński 2004).

Litostratygrafia paleogenu i neogenu złoża „Gostyń” jest w przybliżeniu reprezentatywna dla wszystkich wyżej wymienionych złóż (Widera i in. 2008). Paleogen rozpoczynają morskie piaski glaukonitowe – formacje mosińska dolna i górna, które w niektórych otworach przedzielone są osadami lądowymi, tj. mułami, piaskami i cienkimi warstwami węgla brunatnego – formacja czempińska (ryc. 62). Wzmiankowane formacje są wieku wczesnooligocenckiego. Z drugiej strony, na obszarze rowów poznańskich nie wyróżnia się górnooligocenckiej formacji leszczyńskiej ani 4. dąbrowskiej grupy pokładów – dolny miocen (Widera 2007, Urbański, Widera 2016). Bezpośrednio na osadach paleogeńskich zalega formacja rawicka, którą na obszarze złoża „Gostyń” trudno jest rozdzielić na ogniwa dąbrowskie i żarskie, gdyż są to bardzo jednolite litologicznie piaski rzeczne. Wyżej znajduje się najbardziej węglonośna na Niżu Polskim formacja ścinawska. Wśród mułów, często węglistych, występują 2 grupy pokładów, czyli 3. ścinawska w partiach spągowych i 2. łużycka wyżej, która ma cechy bilansowe. Następnie zalega kompleks piasków rzecznych, które należą do nierozdzielonych formacji pawłowickiej i naramowickiej. Nad nimi spoczywa ogniwo „iłów szarych” (dolna część formacji poznańskiej), które zawiera bilansową 1. środkowopolską grupę pokładów węgla brunatnego. Nie można też wykluczyć, że najwyższe warstwy lub soczewy węgla brunatnego są litostratygraficznym odpowiednikiem 1a. oczkowickiego (towarzyszącego) pokładu. Wszystko przykrywa miększy kompleks „iłów” ogniwa wielkopolskiego (górna część formacji poznańskiej) i czwartorzęd glacialny (ryc. 62).

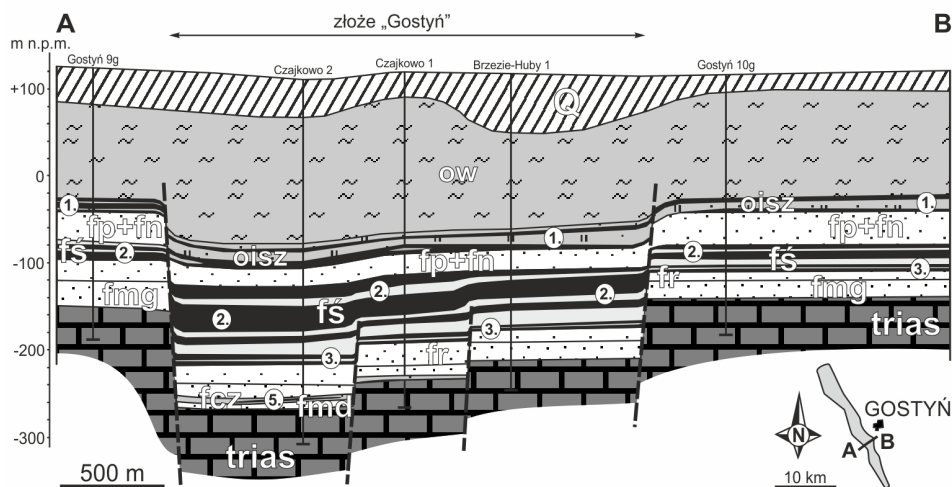
Omawiany obszar złożowy wypełnia paleodepresję tektoniczną zwaną rowem Gostynia, który stanowi środkowy segment tzw. strefy uskokuwej Poznań–Oleśnica (Deczkowski, Gajewska 1980, Kasiński 1984, Piwocki 1991, Widera i in. 2008). Z drugiej strony, rów Gostynia jest najbardziej południowym fragmentem wspomnianych rowów poznańskich, które ciągną się od Szamotuł, przez Poznań, po Gostyń (Kasiński 2004). Zarysy rowu wyznaczają uskoki lub strefy uskokuwe, których sumaryczne zrzuty wynoszą 80–140 m. W innych częściach rowu Gostynia

Litostratygrafia dla obszaru złoża „Gostyń”	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (gliny, piaski, żwir, muły)	pliocen
form. poznańska ogniwo wielkopolskie		ogniwo wielkopolskie formacja poznańska	
ogniwo ilów szarych		ogniwo ilów szarych	środkowy
form. naramowicka + form. pawłowicka		formacja naramowicka + form. pawłowicka	
formacja ścinawska		formacja ścinawska	dolny
formacja rawicka		formacja rawicka	
form. mosińska górna form. czempińska form. mosińska dolna		form. mosińska górna form. czempińska form. mosińska dolna	dolny oligocen
mezozoik		trias, retyk (mułowce, ilowce)	

Ryc. 62. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złoża „Gostyń” (za: Widera 2007, Urbański, Widera 2016, zmienione)

Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

dyslokacje podłoża mezozoicznego mają zrzuty od kilku do kilkudziesięciu metrów (ryc. 63). Strop mezozoiku na omawianym obszarze zbudowany jest z retycyklic (górnego triasu) mułowców i iłowców (Deczkowski, Gajewska 1980). Na nim niezgodnie zalega paleogen, który w omawianym rowie osiąga miąższość do 80 m w jego częściach osiowych i do 40 m na jego skrzydłach. Tylko w najgłębszych partiach rowu Gostynia dolny oligocen wykształcony jest kompletnie, tj. składa się z osadów formacji: mosińskiej dolnej, czempińskiej i mosińskiej górnej – otwór Czajkowo 2 (ryc. 63). Wyżej spoczywa neogen, który łącznie osiąga miąższość od około 240 do ponad 360 m. Jednak ze względów złożowych największe znaczenie ma formacja ścinawska i ogniwo iłów szarych. Formacja ścinawska, wieku wczesno- i środkowomioceniowego, zawiera (jak w większości polskich złóż) dwie grupy pokładów węgla brunatnego. Starsza, 3. ścinawska grupa w spągu (dolny miocen), składa się z 1–3 warstw węgla, o miąższości miejscami ponad 3 m. Jednak z uwagi na niekorzystny stosunek N:W > 20 i niewielkie rozprzestrzenienie węgle te nie spełniają kryteriów bilansowości. Z kolei w środkowych i stropowych częściach formacji ścinawskiej zalegają 2–3 pokłady, które zaliczane są do 2. łuzycyjskiej grupy pokładów (najwyższy dolny i środkowy miocen). Łączna miąższość tych pokładów przekracza nawet 40 m, a ich zasoby obejmują około 80% zasobów węgla brunatnego w całym złożu „Gostyń” (Seredyńska-Iwaniuk 1980). Reszta zasobów tego złoża, czyli około 20%, występuje wśród mułów ogniwa iłów szarych i reprezentuje 1. środkowopolską grupę pokładów. Węgle tej grupy tworzą 2–4 warstwy, których łączna miąższość sięga kilkunastu metrów (ryc. 63).



Ryc. 63. Przekrój geologiczny przez złożo węgla brunatnego „Gostyń” (za: Widera 2007, Urbański, Widera 2016, zmienione)
Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 62

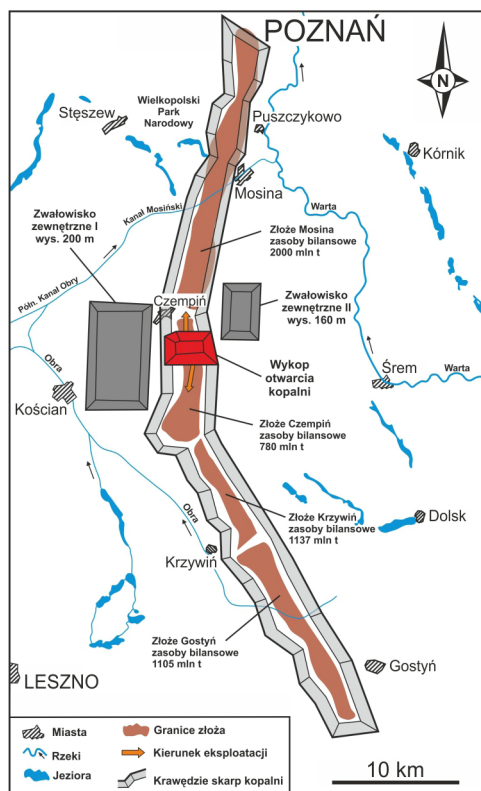
Złożo węgla brunatnego „Gostyń” zostało rozpoznane geologicznie w latach 60. i 70. XX wieku, tj. w tym samym czasie co inne złoża między Poznaniem i Gostyniem (Urbański, Widera 2016). Najpierw zasoby perspektywiczne złoża

Tabela 29. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych węgla ze złoża „Gostyń” (za: Ciuk 1978)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
1. środkowopolski i	wartość opałowa (Q_d^r)	MJ/kg	9,9
	popielność (A^d)	%	10,5
2. łużycki	zawartość siarki (S_d^d)	%	–
	N:W	–	6,6

„Gostyń” oszacowano na ponad 1,1 mld ton węgla, który cechuje się bardzo dobrymi parametrami chemiczno-technologicznymi i geologiczno-górnicznymi (tab. 29, Ciuk 1978). Następnie, kiedy pod uwagę wzięto dane ze wszystkich 73 otworów wykonanych na tym obszarze, zbilansowano (w kat. C2) zasoby złoża „Gostyń” na około 2 mld ton węgla brunatnego. Podana ilość zasobów bilansowych obejmuje około 0,4 mld ton węgla należącego do 1. środkowopolskiej grupy pokładów i około 1,6 mld ton węgla należącego do 2. łużyckiej grupy pokładów (Seredyńska-Iwaniuk 1980).

Warto zauważyć, co dla wielu czytelników może być zaskoczeniem, że w latach 70. XX wieku powstały nawet dość zaawansowane i bardzo „ambitne” plany eksploatacji węgla brunatnego ze złóż zlokalizowanych między Poznaniem a Gostyniem (ryc. 64, tab. 30). Zakładano, że w tzw. Zagłębiu Wielkopolskim wydobywane będzie kilkadziesiąt milionów ton węgla brunatnego rocznie (Ciuk 1978). Pomimo pewnych prób i wielkich planów w regionie wielkopolskim nigdy nie rozpoczęto wydobycia tej kopaliny na skalę przemysłową (Przybyłek 2015).



Ryc. 64. Plan wykorzystania największych złóż węgla brunatnego w regionie wielkopolskim (strefa uskokuwa Poznań–Oleśnica) dla celów energetycznych (za: Przybyłek 2015, zmienione)
Dodatkowe objaśnienia w tab. 30

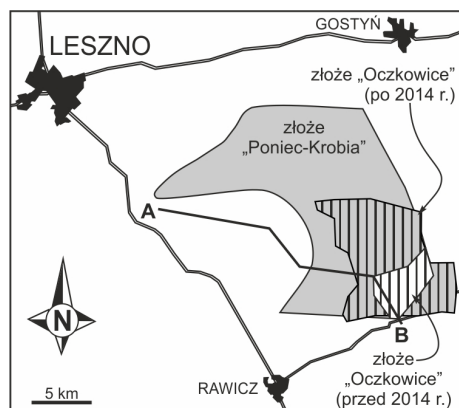
Tabela 30. Zestawienie najważniejszych informacji dotyczących planowanego kompleksu górniczo-energetycznego w regionie wielkopolskim – na południe od Poznania (za: Przybyłek 2015)

Złoże	Zasoby bilansowe (mln ton)
„Mosina”	2000
„Czempiń”	780
„Krzywiń”	1137
„Gostyń”	1105
Zwałowisko zewnętrzne	Powierzchnia i kubatura (km ² ; km ³)
I	45,0; 6,0
II	13,5; 1,8
Front eksploatacyjny	Kierunek eksploatacji
od Czempinia	na północ do Mosiny i Poznania
od Czempinia	na południe do Gostynia
Elektrownie	Liczba bloków i moc (MW)
na złożu „Czempiń”	8 × 600 = 4800
na złożu „Krzywiń”	6 × 600 = 3600

Lokalizacja złóż i zwałowisk na ryc. 64

6.4.13. „Poniec–Krobia” i „Oczkowice”

Złoza węgla brunatnego „Poniec–Krobia” i „Oczkowice” położone są w południowo-zachodniej Wielkopolsce, między Leszmem, Gostyniem i Rawiczem (ryc. 65), około 90–100 km na południe od Poznania (ryc. 18). Ich przynależność geomorfologiczna i tektoniczna jest taka sama



Ryc. 65. Zasięg złóż „Poniec–Krobia” i „Oczkowice” w różnych dokumentacjach geologicznych (za: Urbański, Wiedera 2016, zmienione)

jak wyżej scharakteryzowanego złoża „Gostyń”. Niemniej jednak znaczna część tych złóż, zwłaszcza obszar złoża „Poniec–Krobia”, występuje poza strefami uskokowymi (Piwocki 1975).

Złoza te omówiono razem, gdyż ich granice (ryc. 65), a tym samym zasoby i inne parametry, zmieniały się wraz z ich rozpoznaniem. Natomiast zmianom nie ulegała litostratygrafia paleogenu i neogenu na obszarze złóż „Poniec–Krobia” i „Oczkowice”. Można nawet powiedzieć, że jest ona zbliżona i bardziej kompletna oraz względnie łatwa do korelacji z obszarem złoża „Gostyń” (Ciuk 1967, Piwocki 1975). Z drugiej strony, znaczne

różnice między tymi złożami występują w wykształceniu miąższościowo-litologicznym poszczególnych jednostek litostratygraficznych (ryc. 66). Obszar złóż „Poniec-Krobia” i „Oczkowice” charakteryzuje się najbardziej kompletnym profilem oligocenu. Dolny oligocen to formacje mosińska dolna i górna, które przedzielone są przez formację czempińską. Osady formacji mosińskich zbudowane są przede wszystkim z morskich piasków kwarcowo-glaukonitowych. Z kolei osady formacji czempińskiej reprezentowane są przez osady lądowe, takie jak: piaski, muły i ropy oraz 1–2 cienkie (poniżej 1 m) warstwy lub soczewy węgla brunatnego, które są korelowane z 5. czempińską grupą pokładów. Niezgodnie na osadach formacji mosińskiej górnej spoczywa późnooligocenna formacja leszczyńska w jej typowym wykształceniu między Leszmem a Rawiczem (Ciuk 1967). Litologicznie jest ona zbudowana z piasków pylastych kwarcowo-łyzczykowych, z nielicznymi ziarnami glaukonitu. Dlatego przyjmuje się, że omawiane osady powstały w środowisku brackim, tj. wysłodzonych wód morskich (Piwocki 1975, 1976, 1979, Piwocki, Ziemińska-Tworzydło 1995).

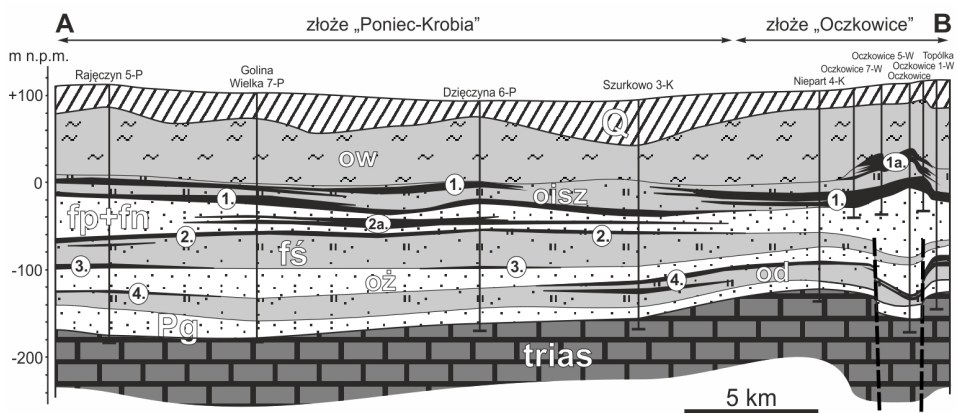
Na paleogenie spoczywa kompleks osadów neogeńskich, które w najniższej części reprezentowane są przez formację rawicką. Na obszarze złóż „Poniec-Krobia” i „Oczkowice” jest ona wyraźnie dwudzielna i z łatwością można wyróżnić mułowo-ilaste osady ogniwa dąbrowskiego, z 4. dąbrowską grupą pokładów węgla, oraz piaszczyste osady ogniwa żarskiego (ryc. 66). Ponad formacją rawicką spoczywa formacja ścinawska, która na obszarze obu omawianych złóż nie zawiera bilansowych pokładów węgla brunatnego, chociaż ich względnie cienkie odpowiedniki litostratygraficzne stwierdzono w większości otworów wiertniczych. Reprezentują ją więc następujące osady: piaski, muły i ropy, często z domieszką detrytus roślinnego, i wspomniane cienkie warstwy węgla brunatnego 3. ścinawskiej i 2. lużyckiej grupy pokładów. Wyżej w profilu występują osady głównie piaszczyste, reprezentujące nierozdzielone formacje pawłowicką i naramowicką.

Litostratygrafia dla złóż „Poniec-Krobia” i „Oczkowice”	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (piaski, żwiry, gliny, muły)	
form. poznawska		ogniwo wielkopolskie	pliocen
ogniwo wielkopolskie		ogniwo wielkopolskie	
form. poznawska		ogniwo wielkopolskie	górny
ogniwo ropy szarych		ogniwo ropy szarych	
form. naramowicka		formacja naramowicka	środkowy
form. pawłowicka		formacja pawłowicka	
formacja ścinawska		formacja ścinawska	dolny
form. rawicka		formacja rawicka	
og. żarskie		og. żarskie	górny oligocen
og. dąbrowskie		og. dąbrowskie	
form. leszczyńska		form. leszczyńska	dolny oligocen
form. mosińska górna		form. mosińska górna	
form. czempińska		form. czempińska	
form. mosińska dolna		form. mosińska dolna	
mezozoik		trias, kajper, retyk (mułowce, ropy, ewaporaty)	

Ryc. 66. Litostratygrafia osadów paleogeńsko-neogeńskich na obszarze złóż „Poniec-Krobia” i „Oczkowice” (za: Piwocki 1975, Urbański, Widera 2016, zmienione) Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

Obie jednostki można jednak wydzielić, kiedy na granicy między nimi występują osady mułowo-ilaste z węglami 2a. lubińskiej (towarzyszającej) grupy pokładów. W stropie neogenu spoczywa formacja poznańska, czyli ogniwo iłów szarych i ogniwo wielkopolskie. To właśnie ogniwo iłów szarych jest najbardziej węglonośne na omawianym obszarze. Zawiera ono bilansową zarówno 1. środkowopolską, jak i 1a. oczkowską (towarzyszającą) grupę pokładów węgla brunatnego – wyłącznie w złożu „Oczkowice”. Wszystko przykrywają wodnolodowcowe i lodowcowe osady czwartorzędowe (ryc. 66).

Złoże „Oczkowice”, według obecnego zasięgu (ryc. 65), częściowo wypełnia płytkie obniżenie tektoniczne (20–40 m), tzw. rów Chobieni–Rawicza (Piwocki 1975). Natomiast złoże „Poniec–Krobia” w całości zalega poza strefami dyslokacyjnymi (ryc. 67). Strop mezozoiku zbudowany jest ze skał triasowych, głównie kajpru (piaskowce, mułowce i iłowce z ewaporatami) i retyku (mułowce i iłowce bez ewaporatów) (Deczkowski, Gajewska 1980). Paleogen (na przekroju wyróżniony jako paleogen nierozdzielony) stanowi ciągłą warstwę o grubości 10–30 m. W przybliżeniu dwukrotnie większą miąższość ma rozpoczynająca neogen formacja rawicka, która na obszarze złóż „Poniec–Krobia” i „Oczkowice” dzieli się na ogniwa dąbrowskie i żarskie. W stropie ogniwa dąbrowskiego spoczywają węgle 4. dąbrowskiej grupy lub ich litostratygraficzne odpowiedniki, np. w postaci mułów węglistych. Należy zauważyć, że zasięg tego ogniwa w najbardziej południowo-zachodniej Wielkopolsce i południowej części Ziemi Lubuskiej w przybliżeniu pokrywa się z rozprzestrzenieniem późnooligoceńskiej formacji leszczyńskiej. Dlatego można stwierdzić, że ogniwo dąbrowskie (osady lądowe, w tym bagienne) jest kontynuacją sedimentacji morskiej (w strefie przyujściowej), w wyniku której powstały osady brakiczne formacji leszczyńskiej (Urbański, Widera 2016). Ponadto tylko w pewnej części złoża „Oczkowice” osady paleogeńskie i neogeńskie są tektonicznie zrzucone o około 20–40 m – otoczenie otworu Oczkowice (ryc. 67). Poza tą wąską strefą wszystkie wydzielenia litostratygraficzne zalegają



Ryc. 67. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Poniec–Krobia” i „Oczkowice” (za: Urbański, Widera 2016, zmienione)

Lokalizacja linii przekrojowej na ryc. 65, inne objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 66

dość płasko, w tym formacja ścinawska z 2. łużycką grupą pokładów, która lokalnie ma cechy bilansowe (Piwocki 1979). Ciekawostką geologiczną jest wyniesienie osadów ogniwa iłów szarych, w tym 1. środkowopolskiego i 1a. oczkowickiego pokładu, nad wzmiankowaną strefą tektoniczną, tj. rowem Chobieni–Rawicza. W tym przypadku przyczyną deformacji są plejstocenijskie procesy glacitektoniczne (Piwocki 1975, 1976). To właśnie te dwa pokłady węglowe (1. środkowopolski i 1a. oczkowicki) są bilansowe w złożu „Oczkowice”, których łączna i maksymalna miąższość wynosi 34,5 m, a średnio wynosi 12,8 m (Kuliński, Skóra 2014). Wiek obu tych pokładów jest środkowomiocenijski (Piwocki, Ziemińska-Twożydło 1995). Powyżej zalega około 100–120 m nadkładu, obejmującego mułowo-ilaste osady ogniwa wielkopolskiego i glacygeniczne osady czwartorzędowe, głównie plejstocenijskie (ryc. 67).

Już na początku lat 60. XX wieku rozpoznano wstępnie budowę geologiczną, dokumentując obecność pokładów węglowych obszaru między Leszmem, Rawiczem i Gostyniem. W oparciu o dane z kilkudziesięciu otworów wiertniczych wykonanych w kolejnych kilkunastu latach w granicach sprzed 2014 roku (ryc. 65) oszacowano (w kat. D1) zasoby złóż „Poniec–Krobia” i „Oczkowice” na około 1,8 mld ton węgla brunatnego. Na tę ilość składały się łącznie 3 grupy pokładów, tj. 1. środkowopolska, 1a. oczkowicka i 2. łużycka (Piwocki 1976, 1979). Już wtedy stwierdzono, że oprócz wielkich zasobów również parametry chemiczno-technologiczne węgla z obu złóż są bardzo dobre. Jedynie współczynnik N:W > 10 przekraczał nieco wartości przyjmowane wówczas w kryteriach bilansowości polskich złóż węgla brunatnego (tab. 31). W oparciu o wspomnianą niewielką liczbę (tj. 26) otworów rozpoznawczych zaproponowano wstępną koncepcję zagospodarowania złóż „Poniec–Krobia” i „Oczkowice”. Przewidziano w niej wydobycie węgla przez co najmniej 50 lat w ilości około 12 mln ton rocznie (Kasztelewicz i in. 2012). W ostatnich kilkunastu latach, a szczególnie w połowie drugiej dekady XXI wieku, podjęciem wydobycia węgla ze złoża „Oczkowice” bardzo zainteresowana była Grupa Kapitałowa ZE PAK S.A., w skład której wchodziły KWB Adamów i KWB Konin (Urbański, Widera 2016, Przybyłek, Dąbrowski 2017). Związane to było z wyczerpywaniem się złóż we wschodniej Wielkopolsce, zwłaszcza

Tabela 31. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych węgla w złożach „Poniec–Krobia” i „Oczkowice” według starszych dokumentacji geologicznych (za: Piwocki 1976, 1979)

Złoże	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
„Poniec–Krobia”	wartość opałowa (Q_r^t)	MJ/kg	9,2
	popielność (A^d)	%	18,8
	zawartość siarki (S_r^d)	%	0,6
	N:W	–	11,1
„Oczkowice”	wartość opałowa (Q_r^t)	MJ/kg	9,8
	popielność (A^d)	%	14,0
	zawartość siarki (S_r^d)	%	1,0
	N:W	–	10,7

w okolicach Turku. Dlatego w latach 2011–2014 na obszarze dawnego złoza „Oczkowice” i w południowo-wschodniej części dawnego złoza „Poniec–Krobia” wykonano dodatkowo 100 otworów rozpoznawczych. W ten sposób określono zasoby (w kat. C1 i C2) w nowo zdefiniowanych granicach złoza „Oczkowice” (ryc. 65) na około 1 mld ton węgla brunatnego (Kuliński, Skóra 2014). Te najnowsze prace rozpoznawczo-dokumentacyjne potwierdziły zarówno bardzo dobre parametry chemiczno-technologiczne, jak i spełniające obecne kryteria bilansowości parametry geologiczno-górniczne pokładów węgla ze złoza „Oczkowice” (tab. 32).

Tabela 32. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych węgla w złożu „Oczkowice” według najnowszej dokumentacji geologicznej (za: Kuliński, Skóra 2014)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
1a. oczkowicki i	wartość opałowa (Q_r^t)	MJ/kg	10,2
	popielność (A^d)	%	13,1
1. śródkowopolski	zawartość siarki (S_r^d)	%	0,8
	N:W	–	9,7

Na koniec należy odnotować fakt, że planom budowy kopalni odkrywkowej węgla brunatnego na złożu „Oczkowice” w ciągu ostatnich 10 lat towarzyszył bardzo głośny, nie tylko w Wielkopolsce, sprzeciw różnych środowisk. Uczestniczyli w nim zarówno lokalni rolnicy, przedsiębiorcy i samorządowcy, jak i naukowcy. Rolnicy wskazywali na koniec rolnictwa na obszarze przyszłej odkrywki, a w najlepszym przypadku na znaczne obniżenie produkcji roślinnej i zwierzęcej. Lokalni przedsiębiorcy, ściśle związani z rolnictwem, obawiali się dużych strat. Z kolei samorządowcy (szczególnie od gminnego po powiatowy) przekonywali, że dobrze rozwinięte rolnictwo i współpracujący z nim przedsiębiorcy generują więcej miejsc pracy dla miejscowej ludności, niż mogłaby stworzyć przyszła kopalnia. Wreszcie naukowcy, zwłaszcza hydrogeolodzy, wskazywali na negatywne oddziaływanie funkcjonowania odkrywki m.in. na: powstanie dużego leja depresji (o promieniu do 20–25 km), zagrożenie dla lokalnych (np. w rynnach subglacialnych) złóż wody pitnej poprzez ich zdrenowanie, dopływ do odkrywki i studni odwodnieniowych wód słonych itd. (Przybyłek, Górski 2016, Przybyłek, Dąbrowski 2017). Podsumowując, trzeba zauważyć, że perspektywa powstania nowego zagłębia węglowego w południowo-zachodniej Wielkopolsce skutkowałą nie tylko licznymi protestami, w tym ulicznymi, ale też była głównym, przewodnim tematem wielu konferencji i sympozjów. W czasie jednego z takich sympozjów (Poznań, 30.01.2015) autor tej monografii prezentował budowę geologiczną złoza „Oczkowice” oraz udzielał wywiadów na temat roli węgla brunatnego w polskiej energetyce dla regionalnych mediów, tj. prasy i telewizji. Od około 3–4 lat sprawa budowy nowego zagłębia węglowego w południowo-zachodniej Wielkopolsce wydaje się mało realna, co należy łączyć, oprócz wymienionych wyżej kwestii społecznych i środowiskowych, także z zamknięciem elektrowni Adamów (2018 rok) i KWB Adamów (2021 rok).

6.4.14. „Legnica Zachód”

Złoże węgla brunatnego „Legnica Zachód” jest jednym ze złóż tzw. kompleksu złóż legnickich, do którego należą też następujące złoża: „Ruja”, „Legnica Wschód”, „Legnica Północ”, „Ścinawa” i „Ścinawa–Głogów”. Obok wyżej scharakteryzowanych złóż regionu wielkopolskiego jest to jeden z największych w Europie kompleksów złożowych węgla brunatnego (Kasiński 2009). Złoże „Legnica Zachód” bezpośrednio sąsiaduje z Legnicą od północy i północnego zachodu, która leży na Równinie Legnickiej. Natomiast pod względem tektonicznym złoże to należy do bloku przedsudeckiego (Żelaźniewicz i in. 2011).

Kenozoik na omawianym obszarze rozpoczynają pokrywy lub kopuły bazaltowe o nieznannej grubości i niewielkim rozprzestrzenieniu, a ich wiek został ogólnie uznany za paleogeński (Jaroń i in. 1978). Z drugiej strony, z obszaru złoża „Legnica Zachód” nie opisano innych osadów paleogeńskich. Dlatego profil kenozoiku jest reprezentowany wyłącznie przez neogen i czwartorzęd. Kompleks neogeński rozpoczyna, według terminologii Dyjora (1978), seria śląsko-łużycka, która w spągu jest drobnoklastyczna (głównie ility, a podrzędnie muły i piaski), zaś w stropie zbudowana jest z węgla brunatnego – pokładu PII w lokalnej litostratygrafii (Jaroń i in. 1978). Osadom tym na pozostałym terytorium Niżu Polskiego odpowiada formacja ścinawska z 2. łużycką grupą pokładów węgla brunatnego (ryc. 68). Wyżej spoczywa piaszczysto-ilasta seria Mużakowa z pokładem PIIA w środkowej części i z pokładem PIII w stropie. Pokłady te odpowiadają odpowiednio 2a. lubińskiemu (towarzyszącemu) i 1. środkowopolskiemu pokładowi węgla brunatnego. Należy zwrócić uwagę, że w lokalnym nazewnictwie pokłady węglowe są ponumerowane odwrotnie, niż to się obecnie przyjmuje – zgodność występuje tylko w przypadku pokładów 2. i 2a. Dopiero Kasiński (2009), przy charakterystyce kompleksu złóż legnickich, użył aktualnego nazewnictwa i numeracji omawianych pokładów. Profil neogenu kończy ilasto-mułowo-piaszczysta seria poznańska, w przybliżeniu odpowiadająca formacji poznańskiej. Neogen przykryty jest czwartorzędem glacyenicznym (ryc. 68).

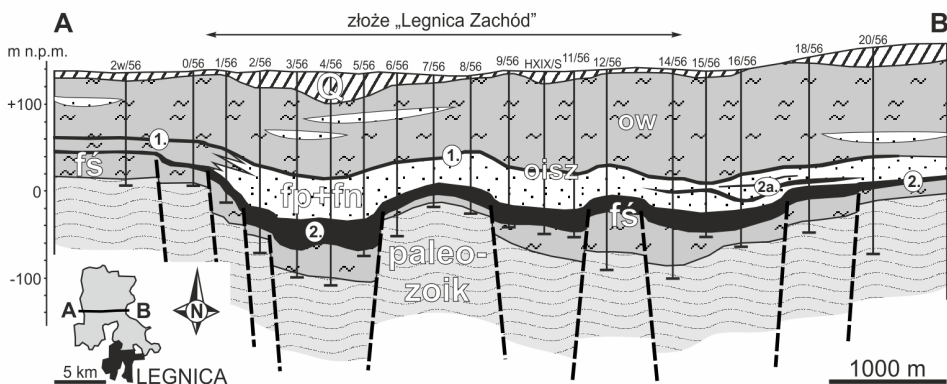
W podłożu podkenozoicznym złoża „Legnica Zachód” występują zmetamorfizowane skały klastyczne

Litostratygrafia dla złoża „Legnica Zachód”	Lito-logia	Litostratygrafia dla obszaru Niżu Polskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (piaski, żwiry, gliny)	pliocen
seria poznańska		ogniwo wielkopolskie	górny
og. ilów szarych		formacja poznańska	
1. pokład PIII, Henryk		og. ilów szarych	środkowy
seria Mużakowa		formacja naramowicka	
2a. pokład PIIA		formacja pawłowicka	dolny
2. pokład PII		formacja ścinawska	
paleozoik		ordowik-dolny karbon (skały metamorficzne: różne łupki i szarogłazy)	

Ryc. 68. Litostratygrafia osadów neogeńskich na obszarze złoża „Legnica Zachód” (za: Jaroń i in. 1978, zmienione)

Objaśnienia na ryc. 19, 20, 24

i krzemionkowe, tj. łupki: fyllitowe, talkowe, chlorytowe i serycytowe oraz sporadycznie łupki kwarcytowe i szarogłazy (Jaroń i in. 1978). Ich wiek został wstępnie określony przez wymienionych badaczy na sylur lub obejmuje przedział od ordowiku po wczesny karbon, jak to jest znaczone i opisywane na bardziej współczesnych mapach geologicznych (Dadlez i in. 2000, Żelaźniewicz i in. 2011). Osady kenozoiczne zalegają na urozmaiconym morfologicznie podłożu paleozoicznym, które charakteryzuje się deniwelacjami ponad 100 m na dystansie 1–2 km. Skutkiem tego są różnice w miąższości osadów neogenu, które mieszczą się w przedziale około 120–220 m (ryc. 69). Do ukształtowania stropu paleozoiku ściśle nawiązują przede wszystkim osady formacji ścinawskiej z 2. łużyckim pokładem węgla brunatnego w stropie, co dowodzi najintensywniejszej tektoniki synsedymentacyjnej w czasie akumulacji torfu, z którego następnie ten pokład powstał. Jest to w zasadzie główny pokład bilansowy na obszarze złoże „Legnica Zachód”, gdzie jego największe miąższości sięgają 20–25 m (Jaroń i in. 1978). Wyżej spoczywające osady formacji pawłowskiej i naramowickiej można rozdzielić tam, gdzie występują węgle 2a. lubińskiej (towarzyszącej) grupy pokładów – np. między otworami 14/56–18/56 (ryc. 69). Ponadto łatwo można zauważyć, że miąższość obu tych formacji jest większa w strefach zwiększonych grubości podścielającego je 2. łużyckiego pokładu, co należy tłumaczyć kompaktacją najpierw torfu, a potem węgla brunatnego. Z drugiej strony, 1. środkowopolski zalega na obszarze całego złoże „Legnica Zachód” ciągłą warstwą o miąższości 2–5 m, co dowodzi ruchów epejrogenicznych (regionalnych) w czasie akumulacji torfu, przy braku lokalnych ruchów tektonicznych. Późniejsze jego deformacje są najprawdopodobniej skutkiem postsedymentacyjnej kompaktacji (która trwa także obecnie) 2. łużyckiego pokładu. Należy też dodać, że pokład ten tylko w niektórych otworach ma cechy bilansowe, dlatego nie jest wliczany do całkowitych zasobów omawianego złoże (Jaroń i in. 1978). Podobnie wygląda sytuacja z 2a. lubińskim pokładem, który ma nieznaczną grubość i niewielki zasięg (Kasiński 2009). Neogen kończy 70–140 m



Ryc. 69. Przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Legnica Zachód” (za: Kasiński 2009, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 24, 68

Tabela 33. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych węgla w złożu „Legnica Zachód” (za: Mazurek, Tymiński 2020)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
2. łużycki	wartość opałowa (Q_f^r)	MJ/kg	9,4
	popielność (A^d)	%	18,1
	zawartość siarki (S_t^d)	%	0,7
	N:W	–	6,6

formacji poznańskiej, która obejmuje wspomniany 1. środkowopolski pokład węglowy i tzw. „iły szare” z ksylytami (ogniwo iłów szarych) oraz tzw. „iły zielone” i „iły płomieniste” z przewarstwieniami piaszczystymi i piaszczysto-mułowymi (ogniwo wielkopolskie). Neogen przykrywa bardzo zróżnicowany miąższościowo czwartorzęd (ryc. 69). Na obszarze złoża „Legnica Zachód” osady tego wieku mają od kilku do ponad 100 m grubości w rynnach subglacjalnych. W ich składzie litologicznym przeważają piaski i żwiry wodnolodowcowe, a w mniejszej ilości występują gliny lodowcowe (Jaroń i in. 1978).

Zasoby węgla brunatnego w kompleksie złóż legnickich były dokumentowane w latach 1961–1996 (Kasiński 2009). Pierwszą dokumentację (w kat. C1 i C2) dla złoża pierwotnie zwanego „Legnica”, w obrębie którego wydzielono pola węglowe północne, wschodnie i zachodnie, wykonano pod koniec lat 60. XX wieku (Różycki 1968). Pole zachodnie, czyli obecne złożo „Legnica Zachód”, rozpoznano bardziej szczegółowo (w kat. B, C1, C2) w następnych latach (Różycki 1978). Łączne zasoby bilansowe w tym złożu, przy średniej miąższości 21 m, obliczono na 863,6 mln ton (Kasiński 2009, Mazurek, Tymiński 2020). Pierwotnie uważano, że węgiel 2. łużyckiego pokładu z tego złoża jest jednym z najlepszych jakościowo w Polsce, szczególnie pod względem wartości opałowej i popielności (Jaroń i in. 1978). Późniejsze badania nieco zweryfikowały wcześniejsze dane, ale i tak parametry chemiczno-technologiczne i geologiczno-górniczne dla węgla brunatnego ze złoża „Legnica Zachód” są bardzo korzystne (tab. 33). Ze względu na ogromne zasoby złóż legnickich, w tym złoża „Legnica Zachód”, i dobrą jakość węgla powstał w 2005 roku Komitet Sterujący dla przygotowania zagospodarowania Legnickiego Zagłębia Górniczo-Energetycznego (Kasztelewicz 2008b). Komitet Sterujący zakładał rozpoczęcie eksploatacji węgla już w 2020 roku, przy osiągnięciu jej docelowej wielkości (60 mln ton/rok) w latach 2039–2048 (Tajduś 2008). Poltegor-Instytut przygotował nawet różne scenariusze, uwzględniające skutki środowiskowe i społeczne wydobycia węgla z omawianych złóż (Malewski i in. 2008). Niemniej jednak do realizacji wzmiankowanych planów i scenariuszy nie doszło i nie zanośi się, by w najbliższych co najmniej kilkunastu latach węgiel ze złóż legnickich, włączając złożo „Legnica Zachód”, był eksploatowany.

6.5. Typy genetyczne złóż

Dla powstania węgla brunatnego konieczna jest obecność przede wszystkim roślinności torfotwórczej oraz możliwość zachodzenia procesów bio- i geochemicznych (patrz rozdz. 5). Niemniej jednak dla powstania złóż węgla brunatnego, z pokładami o grubości ponad 3 m, musi dochodzić do długotrwałego, ale jednostajnego i powolnego pogłębiania torfowiska (Kasiński 1984, 2000, Widera 2007, 2013). Może to być spowodowane przez podnoszenie poziomu wód gruntowych, choć najczęściej wzrost głębokości torfowiska wywołany jest obniżaniem (subsycjencją) jego głębszego podłoża. Wspomniana subsycjencja może być zainicjowana przez następujące procesy: epejrogeniczne i tektoniczne ruchy pionowe skorupy ziemskiej, halotektonikę (tj. tektonikę solną), kras węglanowy i solny oraz deformacje glacitektoniczne. Skutki wymienionych procesów ukształtowały obecnie występujące pokłady węgla brunatnego (Ciuk 1968b, Kasiński, Piwocki 2002, Widera 2016c).

Dotychczas zaproponowano trzy podziały genetyczne polskich złóż węgla brunatnego (tab. 34). Różnią się one nieznacznie, głównie pod względem terminologicznym, ale oddają postęp wiedzy na temat budowy geologicznej złóż. W najnowszej klasyfikacji autor tej monografii wyróżnił następujące główne typy złóż:

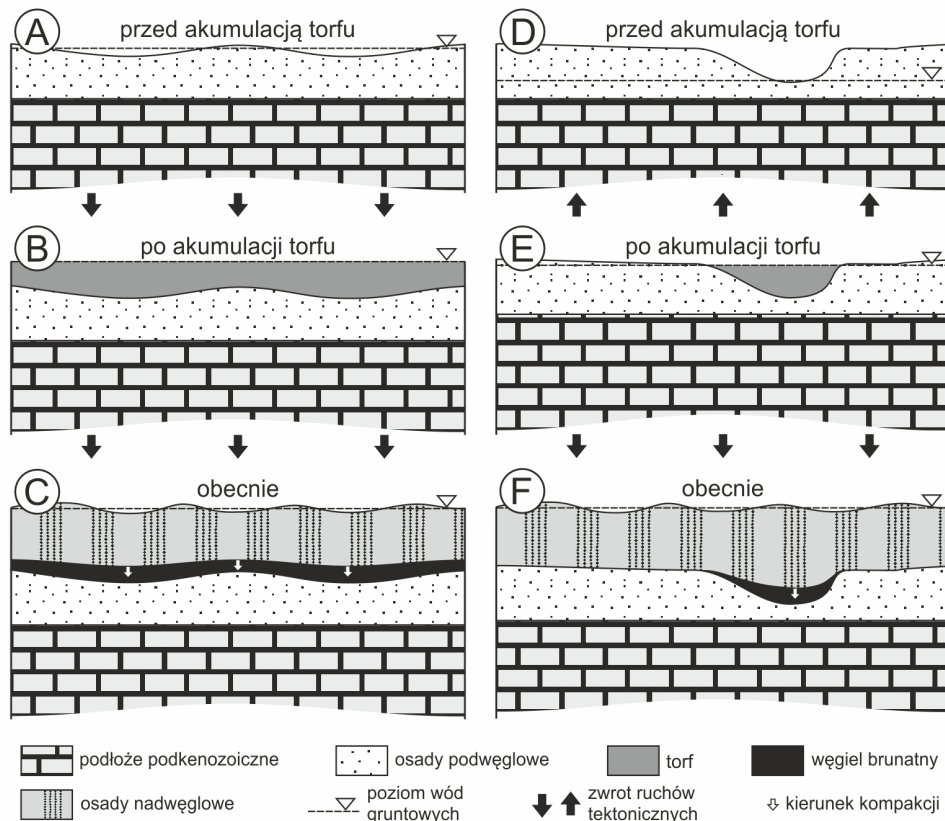
Tabela 34. Porównanie klasyfikacji genetycznych polskich złóż węgla brunatnego (za: Ciuk 1968b, Kasiński, Piwocki 2002, Widera 2016c)

Typ	Podtyp	Grupa	Typ	Podtyp	Typ	Podtyp
Ciuk 1968		Kasiński, Piwocki 1992			Widera 2016c	
warstwowy	pokładowy	pierwotna	epejrogeniczny	warstwowy	epejrogeniczny	plytowy
	soczewkowy			soczewkowy		soczewkowy
w depresjach	reliktowy		tektoniczny	tektoniczny	tektoniczny	w rowie
	w rowach tektonicznych		sub-rozryjny	solno-krasowy	krasowy	solno-krasowy
	w depresjach czapach wysadów solnych					
glacitektoniczny	nasunięciowy		wtórna	glacitektoniczny	wąskie fałdy i nasunięcia	glacitektoniczny
	nieregularny					łuskowy/nasunięciowy

epejrogeniczny, tektoniczny, krasowy i glacitektoniczny. W ich obrębie zostały wydzielone podtypy na podstawie morfologii (architektury) pokładów węglowych oraz syn- lub postsedymentacyjnych czynników je deformujących (tab. 34, Widera 2016c). Dodatkowo, dla potrzeb tego opracowania, wyróżniono typy złożone, tzn. składające się z więcej niż jednego typu genetycznego polskich złóż węgla brunatnego.

6.5.1. Typ epejrogeniczny

Typ epejrogeniczny złóż węgla brunatnego składa się z dwóch podtypów, tj. płytowego i soczewkowego (tab. 34). Powstanie obu podtypów należy wiązać z regionalnymi wahaniami zwierciadła wód gruntowych (Widera 2016c). Te z kolei mogły być wywołane przez wielkopromienne (epejrogeniczne), równomierne ruchy pionowe skorupy ziemskiej (ryc. 70). W pierwszym przypadku (podtyp płytowy) złoża cechują się w przybliżeniu równoległymi do siebie powierzchniami



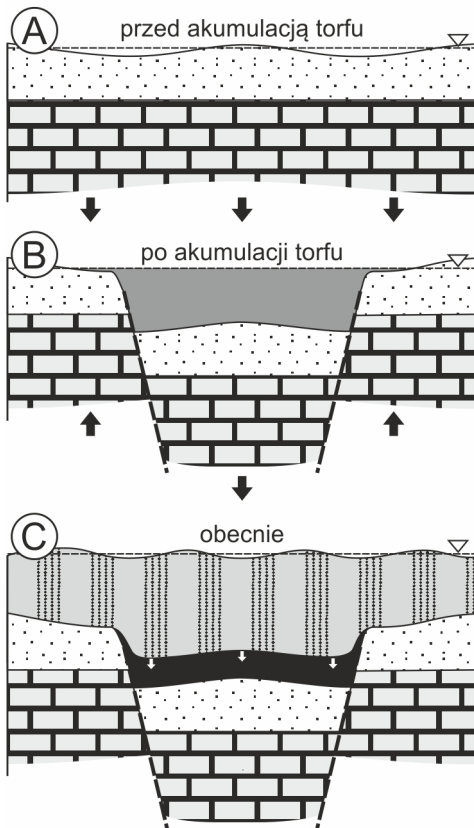
Ryc. 70. Model powstawania złóż węgla brunatnego typu epejrogenicznego (za: Ulenberg 2018, wg koncepcji autora tej monografii, zmienione)

A – podtyp płytowy; B – podtyp soczewkowy

spągową i stropową (ryc. 70C), a także dużym rozprzestrzeniem licznym w dziesiątkach, a nawet setkach kilometrów kwadratowych. Miąższość pokładów węglowych zmienia się stopniowo (facjalnie, sedimentacyjnie) i mieści się w przedziale 5–30 m, zaś ich zasoby przekraczają czasami 0,5 mld ton, np. w złożach „Gubin–Zasieki–Brody” i „Poniec–Krobia”.

Natomiast złoża podtypu soczewkowego są najmniejsze zarówno pod względem powierzchni, jak i zasobów (Kasiński, Piwocki 2002). W wyniku kompaktacji torfu/węgla mają one kształt regularnej, lekko asymetrycznej soczewki o wklęsłym ku górze spągu i stropie (ryc. 70F), której miąższość zazwyczaj nie przekracza 5 m. Jest to spowodowane tym, że większość złóż soczewkowych powstała jako wypełnienie U-kształtnych starorzeczy (Ciuk 1968b). Żadne ze złóż podane szczegółowej charakterystyce w tej monografii nie należy do tego podtypu, gdyż nie mają one większej wartości ekonomicznej. Niemniej jednak kilka

złóż można zakwalifikować do typu epejrogenicznego i podtypu soczewkowego, np. złoża „Rumin”, „Ochle” i „Owadów” (porównaj ryc. 18, tab. 11 i 35).



Ryc. 71. Model powstawania złóż węgla brunatnego typu tektonicznego i podtypu w rowie (za: Ulenberg 2018, wg koncepcji autora tej monografii, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 70

6.5.2. Typ tektoniczny

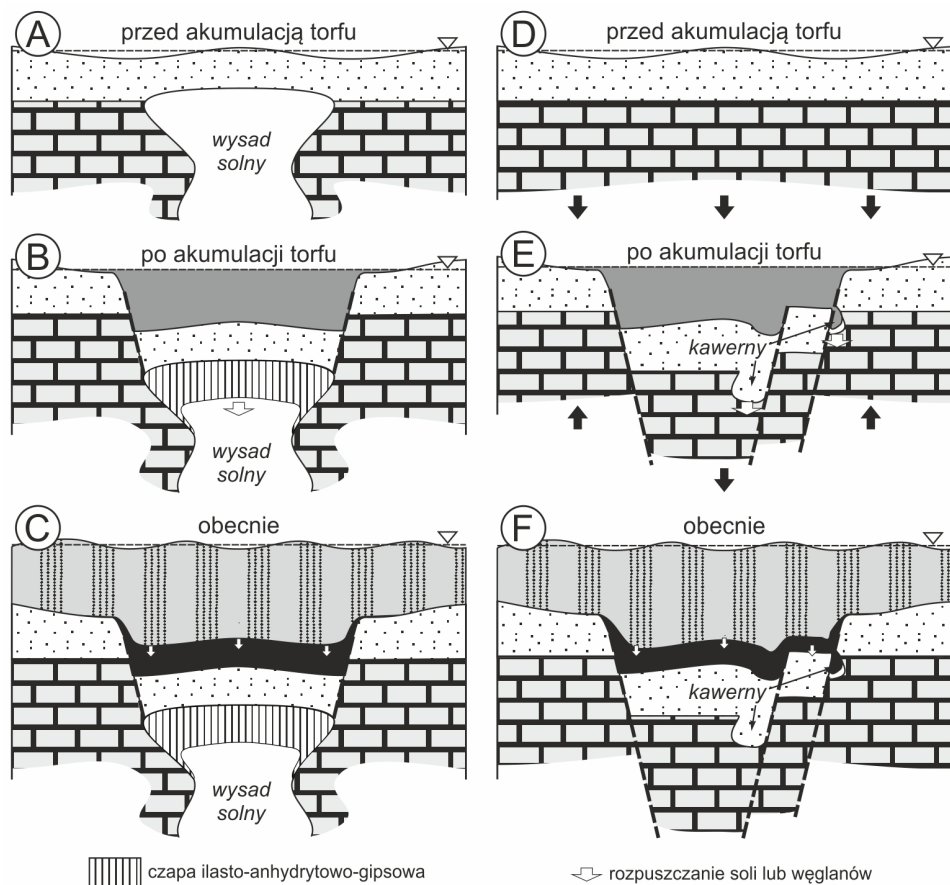
Ten typ genetyczny polskich złóż węgla brunatnego obejmuje tylko jeden podtyp, tj. w rowie (tab. 34). Złoże typu tektonicznego powstaje, gdy pewien fragment terenu ulega obniżeniu względem otoczenia. Te paleoobniżenia, których granice wyznaczają uskoki lub strefy uskokowe, należy nazwać rowami tektonicznymi (ryc. 71). Rozprzestrzenie złoża typu tektonicznego i podtypu w rowie pokrywa się z zasięgiem rowu tektonicznego. Z kolei architektura (forma, kształt) takiego złoża, widziana na przekrojach geologicznych, nawiązuje ściśle do ukształtowania podłoża rowu. Oczywiście zależność ta jest większa, jeśli większy był udział tektoniki synsedymentacyjnej w czasie akumulacji torfu, który następnie został przekształcony w pokład węglowy. Innymi słowy, im bardziej skomplikowany był rozwój tektoniczny rowu, tym bardziej

urozmaicona jest forma pokładów poprzez ich zafałdowanie, zuskokowanie lub strefowe wzrosty miąższości. Najlepszym przykładem złóż typu tektonicznego, podtypu w rowie są złoża bełchatowskie (porównaj rozdz. 6.3.8). Podsumowując, można stwierdzić, że ten typ genetyczny złóż cechuje się największymi miąższościami węgla, np. w tzw. rowie drugorzędym złoża „Bełchatów”, gdzie wynosi ponad 250 m (Piwocki 1992, Widera 2013).

6.5.3. Typ krasowy

Typ krasowy złóż dzieli się na podtyp solno-krasowy i węglanowo-krasowy (tab. 34). Geneza obu podtypów związana jest z rozpuszczaniem, czyli podziemnym krasem, soli lub skał węglanowych, które występowały w podłożu, ale względnie blisko powierzchni terenu. W pierwszym przypadku dochodziło do rozpuszczania soli i tworzenia się czapy ilasto-anhydrytowo-gipsowej. Proces ten prowadził do ubytku masy (i objętości) w podłożu, co skutkowało obniżaniem (subsycją) powierzchni terenu. W ten sposób stopniowo powstawała przestrzeń, tzw. akomodacyjna, która była wypełniana torfem (ryc. 72A–C). W sprzyjających warunkach, kiedy istniała równowaga między subsycją a przyrostem masy roślinnej, mogło dojść do nagromadzenia nawet ponad 100 m torfu, jak to miało miejsce w przypadku każdego z obu bilansowych (5. czempińskiego i 2. łuzyckiego) pokładów w złożu „Rogóźno”. Jest to jedyne z głównych złóż w Polsce, gdzie wzmiankowane pokłady można zaliczyć do podtypu solno-krasowego (tab. 35). Z innych złóż, nieuwzględnionych w tej monografii, do tego typu i podtypu genetycznego można też zaliczyć następujące, względnie małe złoża węgla brunatnego: „Lubień”, „Łanięta” i „Goleniów” (Widera 2016c).

Mechanizm powstawania podtypu węglanowo-krasowego jest podobny jak w przypadku podtypu solno-krasowego (ryc. 72D–F). Niemniej jednak wpływ rozpuszczania skał węglanowych na powstawanie złóż węgla brunatnego jest nieporównywalny, wręcz znikomy. Przejawia się to występowaniem kawern, do kilku metrów średnicy, w skałach podłoża mezozoicznego. Najczęściej stwierdzano je w otoczeniu stref uskokowych (ryc. 72E, F), gdzie krążenie zakwaszonych wód było ułatwione, zarówno w odkrywkach kopalnianych, jak w czasie wierceń. Wspomniane kawerny przeważnie wypełnione były podwęglowymi osadami klastycznymi, ale zdarzało się, że częściowo też węglami brunatnymi (Kasiński 2015). Przykładowo na obszarze złoża „Szczerców” jednym z otworów wiertniczych nawiercono pustkę w podłożu mezozoicznym (kawernę) wypełnioną przez soczewki węgla i żyłki węgla żelowego (do 5–10 cm grubości), które prawdopodobnie reprezentują 5. czempińską grupę pokładów (M. Wagner i E. Worobiec, informacja ustna). Raz jeszcze trzeba wyraźnie stwierdzić, że rola krasu węglanowego w powstawaniu polskich złóż węgla brunatnego była prawie żadna, ale ze względu na dobrze udokumentowane skutki procesu krasowienia wyróżnianie podtypu węglanowo-krasowego jest w pełni uzasadnione. Dlatego złoża bełchatowskie, wraz ze złożem „Złoczew”, zaliczono dodatkowo do typu złóż krasowych i podtypu węglanowo-krasowego (tab. 35).



Ryc. 72. Model powstawania złóż węgla brunatnego typu krasowego (za: Ulenberg 2018, wg koncepcji autora tej monografii, zmienione)

A-C – podtyp solno-krasowy; D-F – podtyp węglanowo-krasowy

Objaśnienia jak na ryc. 70

Tabela 35. Przyporządkowanie polskich złóż węgla brunatnego do odpowiednich typów i podtypów genetycznych (za: Wiedera 2016c)

Re-gion	Nu-mer złoże	Nazwa złoże	Typ złoże	Podtyp złoże
zachodni – I	1	„Rogi–Rudnica”	epejrogeniczny	plytowy
	2	„Sieniawa”	glacitektoniczny, epejroge-niczny	fałdowy, łuskowo/nasunięciowy, plytowy
	3	„Rzepin”	epejrogeniczny	plytowy
	4	„Torzym”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	5	„Cybinka–Sądów”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie

Region	Numer złoża	Nazwa złoża	Typ złoża	Podtyp złoża
zachodni – I	6	„Gubin–Zasieki–Brody”	epejrogeniczny	plytowy
	7	„Mosty”	glacitektoniczny, epejrogeniczny	fałdowy, łuskowo/nasunięciowy, plytowy
	8	„Parowa–Ruszków–Węgliniec”	epejrogeniczny	plytowy
	9	„Radomierzyce”	tektoniczny	w rowie
	10	„Turów”	tektoniczny	w rowie
	11	„Radojewice”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	12	„Chełmce”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	13	„Radziejów”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	14	„Włocławek”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	15	„Piotrków Kujawski”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
konińsko-adamowski – II	16	„Ościśłowo”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	17	„Morzyczyn”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	18	„Tomisławice”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	19	„Mąkoszyn–Grochowska”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	20	„Pątnów IV”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	21	„Lubstów”	tektoniczny	w rowie
	22	„Pątnów I–III”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	23	„Dęby Szlacheckie–Izbica Kujawska”	epejrogeniczny, tektoniczny	plytowy, w rowie
	24	„Niesłusz–Gosławice”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	25	„Morzysław”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	26	„Drzewce”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	27	„Rumin”	epejrogeniczny	soczekowy
	28	„Ochle”	epejrogeniczny	soczekowy
	29	„Piaski”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	30	„Władysławów”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	31	„Kozmin”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	32	„Siąszyce–Grochowy”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	33	„Adamów”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, plytowy
	34	„Uniejów”	epejrogeniczny	plytowy

Re-gion	Nu-mer złoże	Nazwa złoże	Typ złoże	Podtyp złoże
Iódzko-bełchatowski – III	35	„Rogóžno”	krasowy	Solno-krasowy
	36	„Złoczew”	tektoniczny, krasowy	w rowie, węglano-wo-krasowy
	37	„Wieruszów”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	38	„Szczerców”	tektoniczny, krasowy	w rowie, węglano-wo-krasowy
	39	„Bełchatów”	tektoniczny, krasowy	w rowie, węglano-wo-krasowy
	40	„Kamieński”	tektoniczny, krasowy	w rowie, węglano-wo-krasowy
wielkopolski – IV	41	„Szamotuły”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	42	„Naramowice”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	43	„Poznań Miasto”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	44	„Mosina”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	45	„Środa Wielkopolska”	epejrogeniczny	płtowy
	46	„Cykowo-Sepno-Racot”	epejrogeniczny	płtowy
	47	„Czempiń Miasto”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	48	„Czempiń”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	49	„Krzywiń”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	50	„Góra”	epejrogeniczny, tektoniczny	płtowy, w rowie
	51	„Pogorzela”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	52	„Poniec-Krobia”	epejrogeniczny	płtowy
	53	„Gostyń”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	54	„Oczkowice”	epejrogeniczny, tektoniczny, glacitektoniczny	płtowy, w rowie, fałdowy
	55	„Sulmierzyce”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
legnicko-ścina-wski – V	56	„Ścinawa-Głogów”	epejrogeniczny	płtowy
	57	„Ścinawa”	epejrogeniczny	płtowy
	58	„Legnica Północ”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	59	„Legnica Zachód”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	60	„Legnica Wschód”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
	61	„Ruja”	tektoniczny, epejrogeniczny	w rowie, płytowy
północno-zachodni – VI	62	„Więcbork”	tektoniczny	w rowie
	63	„Trzcinanka”	epejrogeniczny	płtowy
	64	„Nakło”	tektoniczny	w rowie
	65	„Wąbrzeźno”	epejrogeniczny	płtowy
	66	„Drezdenko”	epejrogeniczny	płtowy

Region	Numer złoża	Nazwa złoża	Typ złoża	Podtyp złoża
radomski -VII	67	„Głowaczów”	epejrogeniczny	płytowy
	68	„Wola Owadowska”	epejrogeniczny	płytowy, soczewkowy
	69	„Owadów”	epejrogeniczny	soczewkowy

Pogrubioną czcionką zaznaczono złoża omawiane w tym opracowaniu

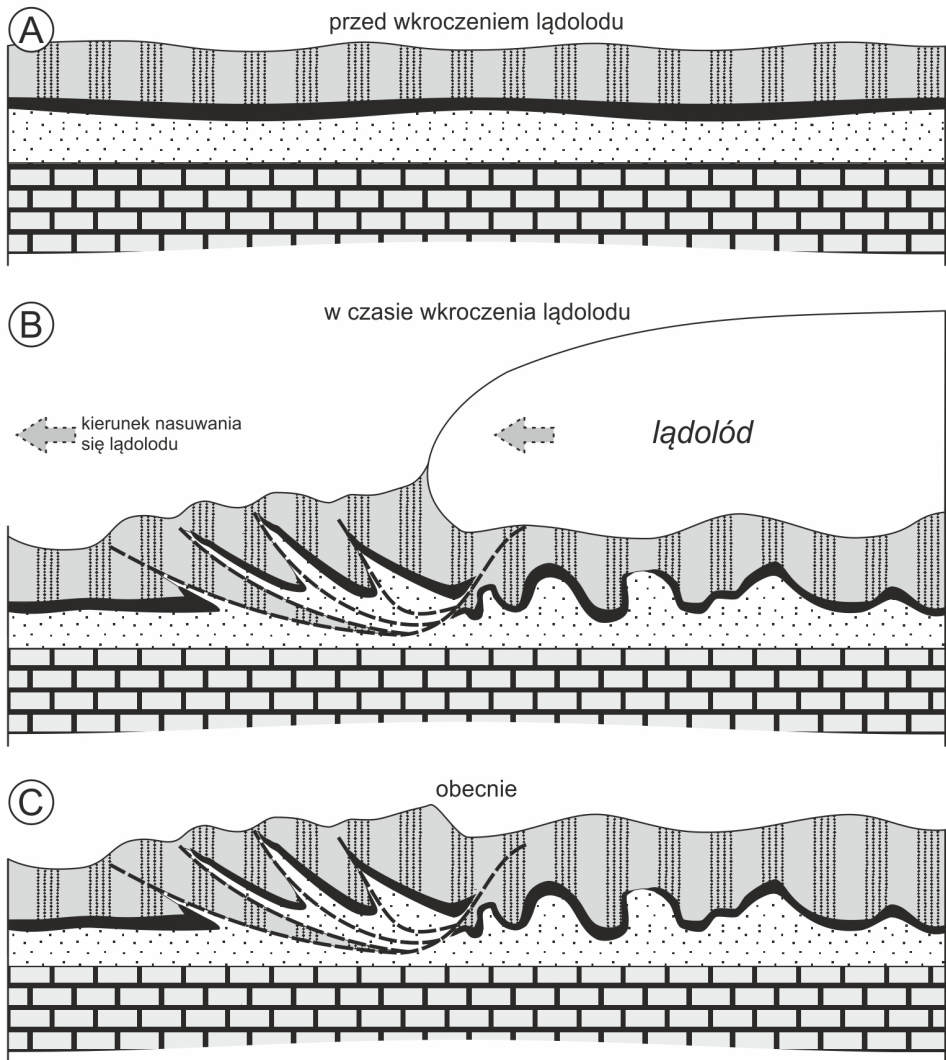
6.5.4. Typ glacitektoniczny

Złoża, które należą do typu glacitektonicznego, pierwotnie reprezentowały pozostałe typy genetyczne. Jednak w wyniku ruchu lądolodów skandynawskich i ich nacisku na podłoże dochodziło do deformacji niżej zalegających osadów kenozoicznych, w tym węgla brunatnych. Największym zaburzeniom podlegały osady w strefie marginalnej lądolodu, tj. pod i przed jego czołem (ryc. 73). W ten sposób powstawały deformacje ciągłe – fałdy i deformacje nieciągłe – nasunięcia, tworzące łuski glacitektoniczne. Stąd też typ glacitektoniczny dzieli się na dwa podtypy, tj. fałdowy i łuskowy/nasunięciowy (tab. 34).

W każdym polskim złożu węgla brunatnego można zaobserwować skutki procesów glacitektonicznych. Niemniej jednak ich wpływ na architekturę pokładów węglowych jest od niewielkiego po dominujący. Najlepszym przykładem złoża glacitektonicznego w Polsce jest złożo „Sieniawa”, gdzie zarówno wierceniami, jak i w odkrywkach kopalnianych udokumentowano oba podtypy, czyli fałdowy i łuskowy/nasunięciowy. Zdarzało się, że oba te podtypy występowały w obrębie jednego siodła węglowego, w odległości nawet kilkudziesięciu metrów od siebie (patrz rozdz. 6.4.1). Z omawianych w tym opracowaniu złóż do typu glacitektonicznego, jako dominującego lub drugorzędowego, wolno zaliczyć jeszcze złoża „Mosty” i „Oczkowice” (tab. 35). Generalnie bardziej przekształcone glacitektonicznie zostały złoża, które pierwotnie reprezentowały typ epejrogeniczny, a mniej złoża typu tektonicznego i krasowego. Należy też dodać, że złoża typu glacitektonicznego są trudne do eksploatacji na dużą skalę, gdyż nie można stosować wielonaczyniowych koparek wielkogabarytowych, tj. o masie od setek do kilku tysięcy ton (Kasztelewicz 2004). W tym przypadku, jak np. w odkrywkach KWB Sieniawa, używa się koparek jednonaczyniowych o masie do 20 ton. Porównanie choćby masy koparek daje wyobrażenie, o ile mniejsze są możliwości wydobywania węgla ze złóż typu glacitektonicznego w porównaniu ze złożami innych typów genetycznych.

6.5.5. Typy złożone

Większość polskich złóż węgla brunatnego, jak już zasygnalizowano wyżej, ma złożoną genezę. To znaczy, że reprezentują one więcej niż jeden typ/podtyp genetyczny. Wspomniane złoża bełchatowskie prawie w całości można zaliczyć do złóż typu tektonicznego i podtypu w rowie. W tym przypadku dobrze



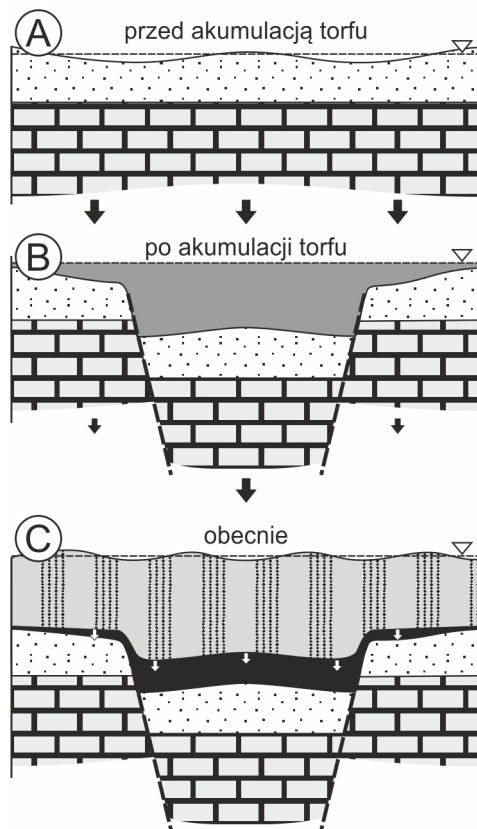
Ryc. 73. Model powstawania złóż węgla brunatnego typu glacitektonicznego oraz podtypów fałdowego i łuskowego/nasunięciowego (za: Ulenberg 2018, wg koncepcji autora tej monografii, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 70

udokumentowano, chociaż o znikomej roli węglotwórczej, skutki krasu węglanowego. Dlatego w klasyfikacji genetycznej złóż bełchatowskich należy dodać, że należą one także do typu krasowego i podtypu węglanowo-krasowego (tab. 35). Jednak najwyższą wartość gospodarczą mają złoża tektoniczno-epejrogeniczne lub epejrogeniczno-tektoniczne. W obu przypadkach procesy tektoniczne (subsycja rowu) i epejrogeniczne (wielkopromienne obniżanie rowu i jego otoczenia)

zachodzą równocześnie. Skutkuje to akumulacją torfu zarówno w rowie, jak i na jego skrzydłach. Powstały w takich warunkach pokład węgla może mieć cechy bilansowe w strefie osiowej rowu, ale też poza nim (ryc. 74).

Wśród głównych polskich złóż węgla brunatnego około 2/3 ma genezę złożoną (tab. 35). Najczęściej są to złoża typu tektoniczno-epejrogenicznego, które dominują w rejonie konińsko-adamowskim i wielkopolskim, a ich zasoby sięgają od kilkudziesięciu do ponad 0,5 mld ton węgla. Ciekawym przypadkiem jest jednak złożo „Oczkowice”, które można przypisać do trzech typów złóż, tj. epejrogenicznego – przeważająca część poza strefami uskoku, tektonicznego – fragment złoża znajduje się w rowie Chobieni-Rawicza i glacie tektonicznego – 1a. oczkowicki pokład jest wyraźnie zdeformowany przez lądolody skandynawskie (porównaj ryc. 67 i tab. 35).



Ryc. 74. Model powstawania złóż typu złożonego tektoniczno-epejrogenicznego (za: Ulenberg 2018, wg koncepcji autora tej monografii, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 70

7. Geologia złóż węgla brunatnego w wybranych zagłębiach europejskich

7.1. Zagłębie Dolnoreńskie – Niemcy

Węgiel brunatny w Niemczech jest wydobywany w trzech zagłębiach węglowych, tj.: Zagłębiu Łużyckim, Zagłębiu Środkowoniemieckim i Zagłębiu Dolnoreńskim, zwanym też Nadreńskim. Wśród nich największe obecnie jest Zagłębie Dolnoreńskie, które zlokalizowane jest w zachodniej części Niemiec, dawna Republika Federalna Niemiec (RFN), między miastami Bonn, Kolonia i Akwizgran (niem. *Aachen*). Największe eksploatowane złoża węgla brunatnego znajdują się na lewym brzegu Renu, wzdłuż rzek Rur i Erft. Pod względem tektonicznym basen dolnego Renu stanowi północno-zachodni fragment (na pograniczu Niemiec i Holandii) tzw. europejskiego kenozoicznego systemu ryftowego – ECRIS (ang. *European Cenozoic Rift System*) (Ziegler 1990, 1992, Michon i in. 2003).

Litostratygrafia osadów kenozoicznych, wypełniających basen dolnego Renu, jest dobrze poznana, a granice wielu jednostek są dodatkowo udokumentowane bio- i chronostratygraficznie (Klett i in. 2002, Schäfer i in. 2005, Schäfer, Utescher 2014). Wynika to z faktu, że obszar ten między wczesnym oligocenem a środkowym mioceniem znajdował się w strefie marginalnej, gdzie zazębiały się facje (osady) morskie i lądowe (ryc. 75). Oligocen dolny (rupel) reprezentują osady głębokomorskie, w tym tzw. ily z Boom (Klett i in. 2002). Ich miąższość wzrasta w kierunku zachodnim i północno-zachodnim, czyli ku obszarowi stratotypowemu w otoczeniu belgijskiej rzeki Rupel. Z kolei górny oligocen (szat) to głównie „przekładaniec” piasków i mułów morskich z kilkoma cienkimi warstwami węgla brunatnego. Paleogen, w tym przypadku oligocen, przykryty jest węglonośnymi osadami dolnego i środkowego miocenu, wyróżnionymi jako formacja z Ville. Jest to bardzo dobry przykład zazębienia się facji przybrzeżnomorskich (piaski) i lądowych (węgle brunatne) (Schäfer i in. 2005). W obrębie tej formacji wyróżnia się trzy bilansowe pokłady węgla, tj. Morken, Frimmersdorf i Garzweiler, które w południowo-wschodniej części Zagłębia Dolnoreńskiego łączą się w tzw. reński pokład główny. Wyżej spoczywają osady lądowe, z których górny miocen to głównie osady rzeczne (grube piaski i drobne żwiry), a pliocen to osady rzeczne (piaski różnoziarniste) w dolnej części i jeziorne (muły) w górnej części profilu.

Na stropie neogenu erozyjnie spoczywa czwartorzęd, który wykształcony jest w przeważającej masie jako osady tarasów wspomnianych wyżej rzek Rur, Erft i Ren. Wśród osadów tarasowych dominują różnoziarniste żwiry i piaski, a podrzędnie muły, zaś w ich stropie występują lessy (ryc. 75).

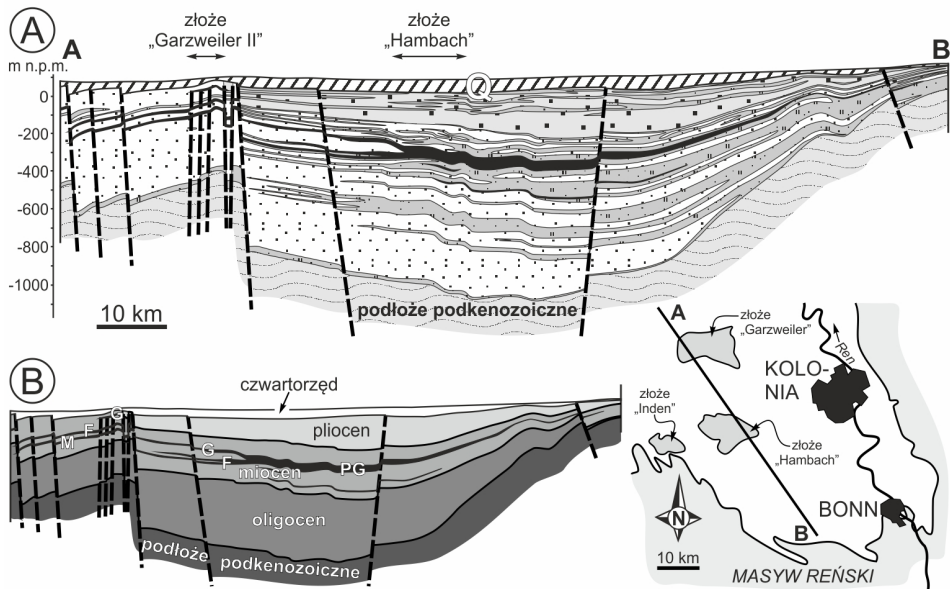
Basen dolnego Renu ma założenia tektoniczne, dlatego nazywany jest też rowem dolnego Renu, który z kolei należy do ECRIS (Ziegler 1990, 1992). Tektoniczny rozwój tego obszaru wpływał na częste transgresje i regresje morskie, które pochodziły z obszaru dzisiejszego Morza Północnego. W efekcie od wczesnego oligocenu do dziś w rowie dolnego Renu nagromadziło się osadów kenozoicznych od około 1 km w części południowo-wschodniej do ponad 2 km w części północno-zachodniej (Michon i in. 2003). Na obszarze eksploatowanych złóż, tj. w Zagłębiu Dolnoreńskim, maksymalna miąższość osadów oligoceńskich wynosi około 500 m i równa się maksymalnej sumarycznej grubości osadów neogeńskich i czwartorzędowych (ryc. 76). Ciągły, reński pokład główny węgla brunatnego osiąga w otworze 49/71 miąższość 101 m (Hager i in. 1981). W kierunku północno-zachodnim pokład ten rozszczepia się na 3 pokłady (Morken, Frimmersdorf, Garzweiler) znane we wszystkich złożach, gdzie ich sumaryczna grubość wynosi średnio 30–50 m. Ze względu na duże rozmiary postsedymencyjnych pionowych ruchów tektonicznych wymienione pokłady węglowe występują na głębokościach od kilkudziesięciu do 400–500 m. Dlatego węgiel brunatny w Zagłębiu Dolnoreńskim eksploatowany jest wyłącznie powyżej wyniesień podłoża, np. z obszaru bloków Erft i Rur (nazwy pochodzą od rzek tam przepływających), gdzie pokłady węglowe zalegają na głębokości mniejszej niż 300 m (ryc. 76, 77, Klett i in. 2002, Schäfer i in. 2005).

Odkrywki węgla brunatnego w Zagłębiu Dolnoreńskim imponują nie tylko rozmiarami (ryc. 77A, B), porównywalnymi tylko z odkrywkami bełchatowskimi,

Lokalne środowisko sedimentacyjne	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru basenu dolnoreńskiego	Chronostratygrafia
czwartorzęd		holocen i plejstocen (żwiry, piaski, muły, lessy)	
rzeczno-jeziorne		form. z Reuverton form. z Rotton	pliocen
rzeczne		formacja z Hauptkies formacja z Inden	
przybrzeżnomorskie		formacja z Ville	górny środkowy dolny
morskie	szat	formacja z Kolinii form. z Grafenberg form. z Lintfort form. z Ratingen form. z Walsum	górny dolny
głębokomorskie	rupel		
paleozoik		kambry - karbon (skały metamorficzne, głównie łupki)	

Ryc. 75. Litostratygrafia osadów kenozoicznych w basenie dolnego Renu, Niemcy (za: Klett i in. 2002, Schäfer i in. 2005, Schäfer, Utescher 2014, zmienione)

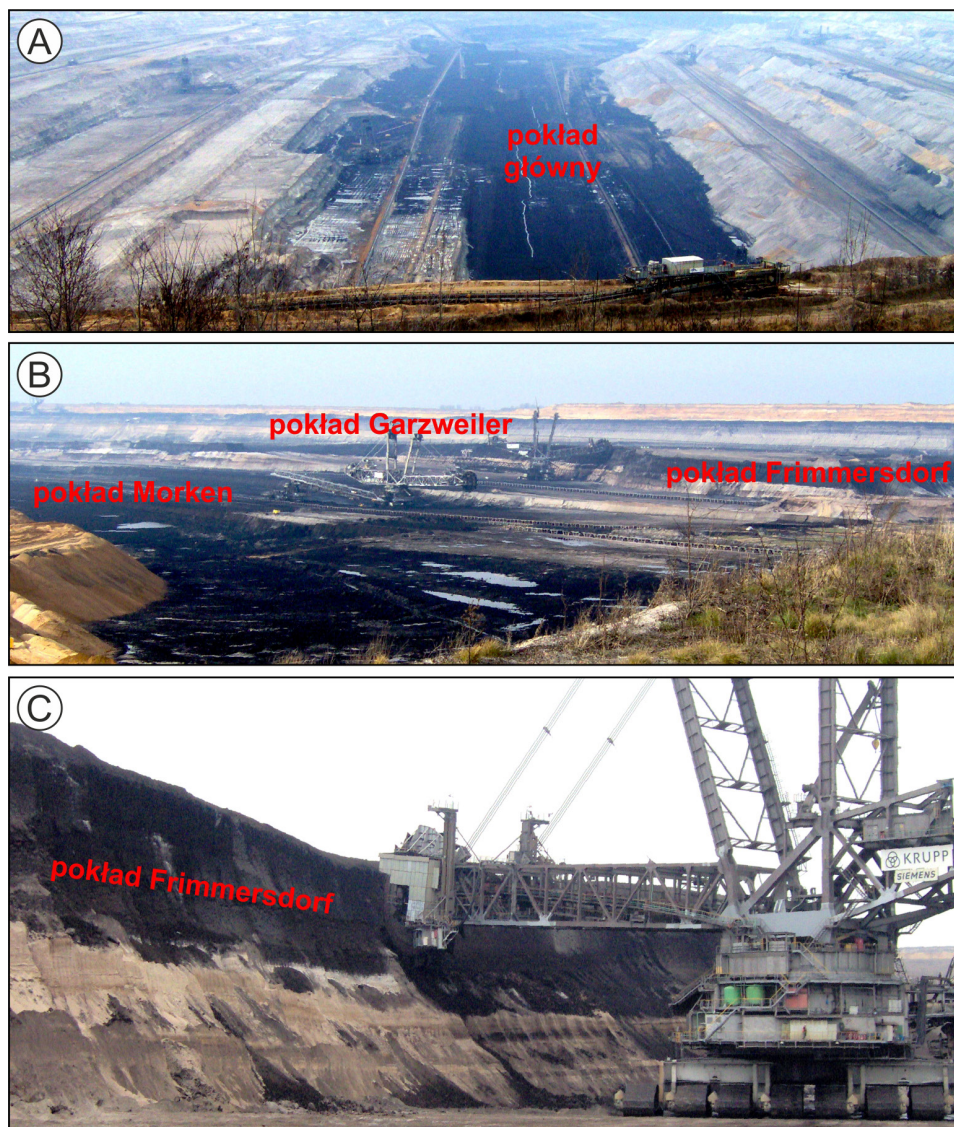
Objaśnienia jak na ryc. 24



Ryc. 76. Podłużny przekrój geologiczny przez złoża węgla brunatnego „Hambach” i „Garzweiler” w Zagłębiu Dolnoreńskim, Niemcy (za: Klett i in. 2002, Schäfer i in. 2005, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 20, 75

ale też największymi koparkami. Należy do nich koparka Bagger 288, zbudowana przez firmę Krupp, o masie około 13,5 tys. ton, która w ciągu doby może wydobyć aż 240 tys. ton węgla lub 240 tys. m³ nadkładu. Jest to więc najcięższy pojazd lądowy na świecie. Dodatkową ciekawostką może być fakt, że głowica tej koparki o średnicy 21,6 m ma 18 czerpaków, z których każdy może pomieścić 6,6 m³ urobku, a ilość węgla wydobyta w ciągu doby wypełniłaby około 2,4 tys. wagonów kolejowych (ryc. 77C). Wspomniane odkrywki są też interesujące pod względem geologicznym, gdyż w wyniku prac górniczych dostępne do bezpośrednich obserwacji są osady o różnej genezie (ryc. 78), których granice są wyraźne i dobrze udokumentowane. Głównie piaszczyste osady, występujące między pokładami Morken i Frimmersdorf, są interpretowane jako przybrzeżnomorskie (Klett i in. 2002, Schäfer i in. 2005, Schäfer, Utescher 2014). Świadczyć o tym mają m.in. warstwowania jodełkowe (ang. *herring-bone structures*), które wskazują na depozycję w przeciwnych kierunkach – strefa przyboju i zmywu (ryc. 78A, B). Z kolei ponad pokładem Garzweiler zalegają osady rzeczne plioceńskie i czwartorzędowe, które są podobne strukturalnie (warstwowania), ale wyraźnie różnią się teksturalnie, tj. pod względem barwy i frakcji (wielkość ziarna). Osady plioceńskie to piaski kwarcowe drobno- i średnioziarniste, barwy białej. Natomiast osady czwartorzędowe mają barwy od żółtych po rdzawo-brązowe i cechują się bardziej zróżnicowanym uziarnieniem, tj. od grubych żwirów, niekiedy nawet głazów, po muły (ryc. 78C–E). Ich geneza, w tym duże urozmaicenie uziarnienia,

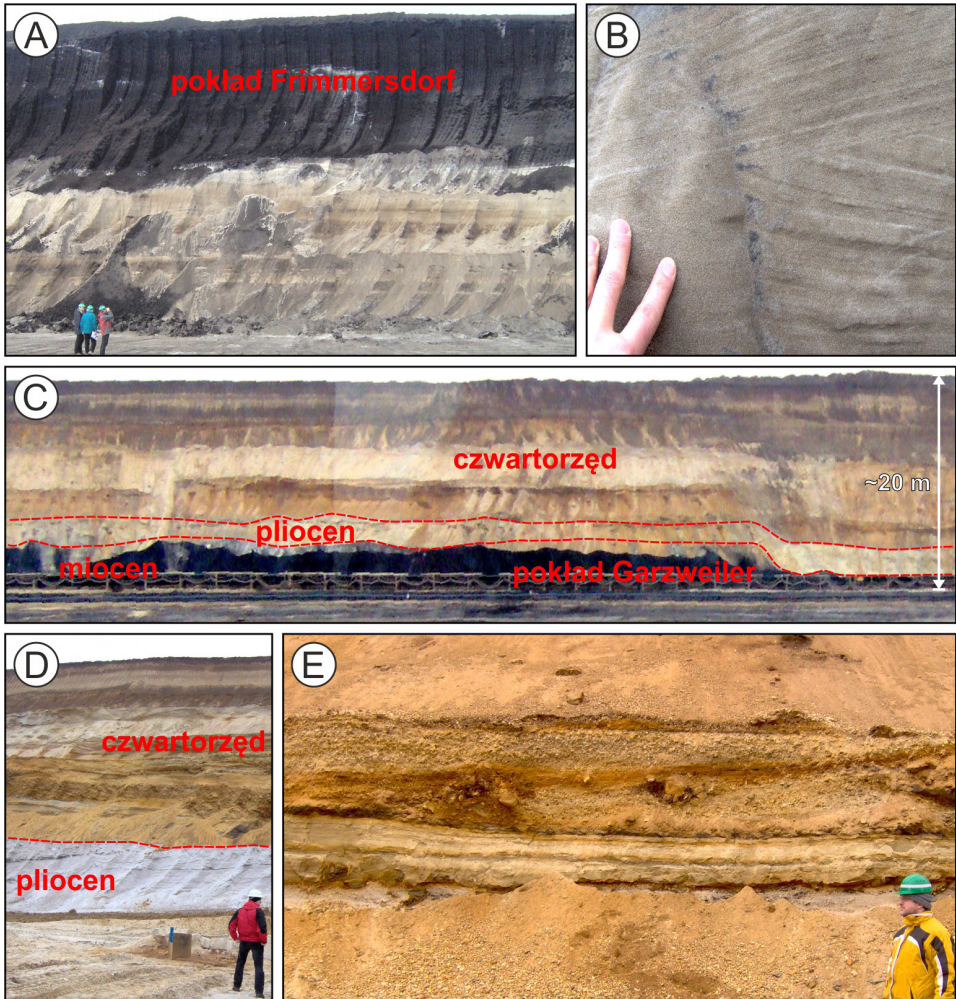


Ryc. 77. Odkrywki węgla brunatnego w Zagłębiu Dolnorońskim, Niemcy (2009 rok, fot. M. Widera)

A – widok ogólny odkrywki Hambach; B – widok ogólny odkrywki Garzweiler; C – koparka Bagger 288 w odkrywce Garzweiler

wiązana jest ze środkowopolejstocieńskim wynoszeniem masywu reńskiego, które skutkowało tworzeniem się po jego północnej stronie tzw. głównego systemu tarasowego (Klett i in. 2002).

Pierwsze wzmianki o węglu brunatnym w Zagłębiu Dolnorońskim, a właściwie o jego pożarach, pochodzą z I wieku n.e., kiedy rzymski historyk, Tattius,



Ryc. 78. Osady kenozoiczne odsłaniające się w odkrywce Garzweiler, Zagłębie Dolnorenne w Niemczech (2009 rok, fot. M. Widera)

A – pokład Frimmersdorf i podścielające go osady morskie; B – piaski morskie (podścielające pokład Frimmersdorf) z charakterystycznym nachyleniem warstwowania w przeciwnych kierunkach; C – ogólny widok osadów młodszego neogenu i czwartorzęd; D – kontakt między rzeczynymi osadami plioceńskimi i czwartorzędowymi; E – czwartorzędowe, tarasowe żwir, piaski i muły

wspominał o nich w swoim raporcie. Pisał on: „Ogień wydobywający się z ziemi zniszczył magazyny z ziarnem zbóż, a nawet wsie i ściany nowo powstałej Kolonii” (Jansen 2017). Przez następne stulecia węgiel brunatny był zapomniany, chociaż już w średniowieczu był używany jako pigment terakoty. Stąd jego lokalna nazwa „ziemia kolońska” (niem. *Cöllnische Erde*) lub „kolońska umbra” (niem. *Cöllnisch Umbra*). Dopiero od połowy XVII wieku, ze względu na wzrost zapotrzebowania na opał, zaczęto wydobywać w licznych miejscach węgiel na skalę

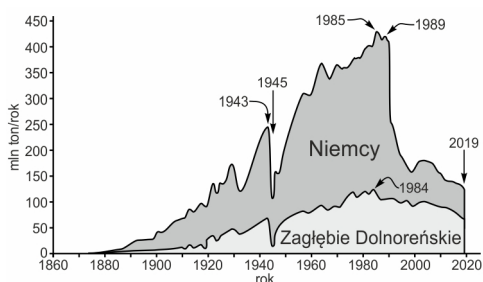
lokalną. Pod koniec następnego stulecia wyrobisk było tak dużo, że trzeba było ich rekultywację uregulować urzędowo, co najpierw uczyniły władze francuskie, a później niemieckie. W drugiej połowie XIX wieku (rewolucja przemysłowa) zaczęły powstawać młyny, a wraz z nimi pierwsze większe odkrywki. Były to okolice obecnie funkcjonujących odkrywek Inden i Hambach w południowo-zachodniej części Zagłębia Dolnoreńskiego. Natomiast w północno-wschodniej części tego zagłębia, w pobliżu dzisiejszej odkrywki Garzweiler I, węgiel brunatny odkryto w 1858 roku (Jansen 2017).

Produkcję prądu z węgla brunatnego zaczęto w małej elektrowni w Frechen (przedmieścia Kolonii) dopiero w 1892 roku, a następnie w nieco większej, uruchomionej przy cukrowni w Brühl (przedmieścia Kolonii) w 1899 roku. Jednak za początek górnictwa węgla brunatnego na skalę przemysłową w Zagłębiu Dolnoreńskim należy uznać 1906 rok, kiedy RWE (niem. *Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG*) przejęła wspomnianą elektrownię w Brühl. Od tego czasu sukcesywnie otwierano i zamykano kolejne mniejsze i większe odkrywki, które należały do 15 różnych zakładów górniczych. Wszystkie te firmy połączono w 1959 roku, a nowo powstałe przedsiębiorstwo nazwano Reński Brunatny (niem. *Rheinbraun*). Dynamiczny rozwój gospodarczy RFN w latach 60. XX wieku był spowodowany m.in. znacznym wzrostem produkcji energii elektrycznej, w tym z węgla brunatnego. Dlatego mniejsze odkrywki zamykano, a otwierano kolejne i większe. Do największych należały/należą: Frechen (zamknięta w 1986 roku), Fortuna-Garsdorf (zamknięta w 1993 roku), Bergheim (zamknięta w 2002 roku), Inden I (zamknięta w 2013 roku), Garzweiler I, Inden II (planowane zamknięcie ok. 2030 roku), Hambach (planowane zamknięcie ok. 2040 roku) i Garzweiler II (planowane zamknięcie ok. 2045 roku). Warto zauważyć, że obecnie funkcjonujące odkrywki oraz elektrownie spalające węgiel z nich pochodzący należą do koncernu RWE (Dębiec, Kędzierski 2021). Z drugiej strony, węgiel z dolnoreńskich złóż cechuje się dobrymi parametrami chemiczno-technologicznymi i geologiczno-górnictwymi. Na szczególną uwagę zasługuje jego niska popielność i zawartość siarki, a także bardzo korzystny stosunek N:W (tab. 36).

Tabela 36. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnictwowych dla złóż węgla brunatnego z Zagłębia Dolnoreńskiego (opracowanie własne na podstawie danych kopalń należących do RWE)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
Garzweiler, Frimmersdorf, Morken	wartość opałowa (Q_f)	MJ/kg	7,8–10,5
	popielność (A^d)	%	1,5–8,0
	zawartość siarki (S_f^d)	%	0,15–0,5
	N:W	–	2,5–5,0

Wielkość wydobycia węgla brunatnego w Niemczech, niekwestionowanego światowego lidera, zasługuje z pewnością na omówienie. Na tle całych Niemiec należy też pokazać rozwój wydobycia w Zagłębiu Dolnoreńskim (ryc. 79), któremu w tej monografii poświęcono największej uwagi. Wiadomo, że już u schyłku



Ryc. 79. Wydobywanie węgla brunatnego w Zagłębiu Dolnoreńskim na tle wydobywania w Niemczech (opracowanie własne na podstawie Statistik 2021)

W XVIII i na początku XIX wieku węgiel brunatny był eksploatowany we wschodnich częściach ówczesnych Niemiec, leżących po obu stronach Nysy Łużyckiej i dolnej Odry, w tym na terenach obecnie należących do Polski (Ciuk 1991, Gontaszewska-Piekarz 2017). Jednak dopiero od lat 80. XIX wieku wydobywanie zaczęło szybko rosnąć, by na początku ubiegłego stulecia (1901 rok) osiągnąć ponad 44 mln ton w całych Niemczech, z czego większość w ich wschodnich regionach. Dopiero około 1910 roku w Zagłębiu Dolnoreńskim przekroczone wydobycie 10 mln ton/rok. W późniejszych latach wydobycie rosło do wojennego maksimum w 1943 roku, tj. do ponad 247 mln ton w Niemczech, w tym około 69 mln ton z basenu dolnoreńskiego (Statistik 2021). Po załamaniu wydobycia w latach 1944–1945 zaczęło ono szybko rosnąć, osiągając historyczne maksima w Zagłębiu Dolnoreńskim w 1984 roku (ponad 120,5 mln ton) i łącznie w NRD i RFN w 1985 roku (ponad 432,8 mln ton) (ryc. 79). Po zjednoczeniu Niemiec w 1989 roku wielkość wydobycia zaczęła spadać, a we wschodnich landach nawet gwałtownie. Skutkowało to tym, że od 1995 roku Zagłębie Dolnoreńskie dostarczało ponad 50% procent niemieckiej produkcji węgla brunatnego. Tendencja spadkowa trwała w ostatnich latach, co sprawiło, że w 2019 roku w Niemczech wydobyto około 131,3 mln ton, z tego w kopalniach dolnoreńskich około 64,8 mln ton (ryc. 79). Według najnowszych danych, w 2020 roku w Zagłębiu Dolnoreńskim wyprodukowano około 51,4 mln ton węgla brunatnego, a we wszystkich niemieckich zagłębiach około 107,4 mln ton (Statistik 2021). Informacje te potwierdzają, że wyraźny trend spadkowy w wydobywaniu węgla brunatnego u naszych zachodnich sąsiadów jest kontynuowany.

7.2. Zagłębie Północnoczeskie – Czechy

W północno-zachodnich Czechach, w kraju uesteckim, znajduje się największe czeskie zagłębie węgla brunatnego, tj. Zagłębie Północnoczeskie. Zlokalizowane jest ono u podnóża Rudaw (Gór Kruszcowych) i przebiega równoległe do nich, czyli w przybliżeniu w kierunku SW–NE. Zagłębie to wypełnia tzw. basen Mostu, rozciągający się między miejscowościami Kadaň i Ústí nad Łabą. Obejmuje on środkowy, największy segment rowu/ryftu Egeru, zwanego też rowem/ryftem Ohrzy (Ohře) (Rajchl i in. 2009, Mach i in. 2013, 2014). Rów Egeru stanowi najbardziej wschodni segment, wspomnianego wyżej ECRIS (Ziegler 1990, 1992).

Podkonozoiczne osady w basenie Mostu występują względnie blisko powierzchni terenu. Są one reprezentowane przez prekambryjskie gnejsy i karbońskie

ryolity, na których spoczywa nieciągła (do ponad 200 m miąższości) warstwa kredowych wapieni i piaskowców (Dvořák, Mach 1999). Natomiast kenozoik rozpoczynają eoceńskie osady aluwialne formacji ze Starého Sedla, które zalegają tylko lokalnie w zagłębieniach powierzchni podkenozoicznej. Wyżej spoczywają eoceńsko-oligocieńskie bazaltoidy (bazanity, tefryty, fonolity), występujące wyspowo i charakteryzujące się grubością od 0 do ponad 100 m – formacja ze Střezova. Profil kończy wczesno-środkowioceńska formacja z Mostu, która dzieli się na 5 ogniw z: Duchcova, Holešic, Libkovic, Lomu i Oseka (ryc. 80). Ogniwo z Duchcova obejmuje zwietrzeliny oligocieńskich wulkanitów, zażębiające się z rzecznyimi piaskami i iłami. Jednak najważniejszą jednostką litostratygraficzną, w kontekście geologii złóż węgla brunatnego, jest ogniwo z Holešic, które obejmuje główny pokład węgla. Ogniwo to w niektórych miejscach (przypuszczalnie w strefach źródeł hydrotermalnych) rozpoczynają tzw. wapienie słodkowodne – kreda jeziorna. Wyżej zalega wspomniany pokład węgla brunatnego, który obocznie przechodzi w piaski rzeczne i piaski delty jeziornej oraz iły węgliste i pyły ilaste typowe dla głębszych partii jeziora (Mach i in. 2013). Ogniwo to kończy ciągła warstwa iłów jeziornych. Z kolei ogniwo z Libkovic składa się w całości z jeziornych iłów pylastych, w których występuje kilka poziomów tufitowych. Ogniwo z Lomu w dolnej części jest lądowo-jeziorne (piaski rzeczne i deltowe oraz cienki pokład węgla brunatnego – pokład z Lomu), zaś w górnej typowo jeziorne, zbudowane z iłów pylastych. Wyżej zalega również jeziorne ogniwo z Oseka, które jest w znacznym stopniu zerodowane, podobnie jak przeważająca część osadów górno-oligocieńskich (z młodszymi wulkanitami) i pliocieńskich. Neogen przykryty jest nieciągłą warstwą osadów czwartorzędowych, zbudowanych z rzecznych piasków i żwirów oraz eolicznych lessów (ryc. 80).

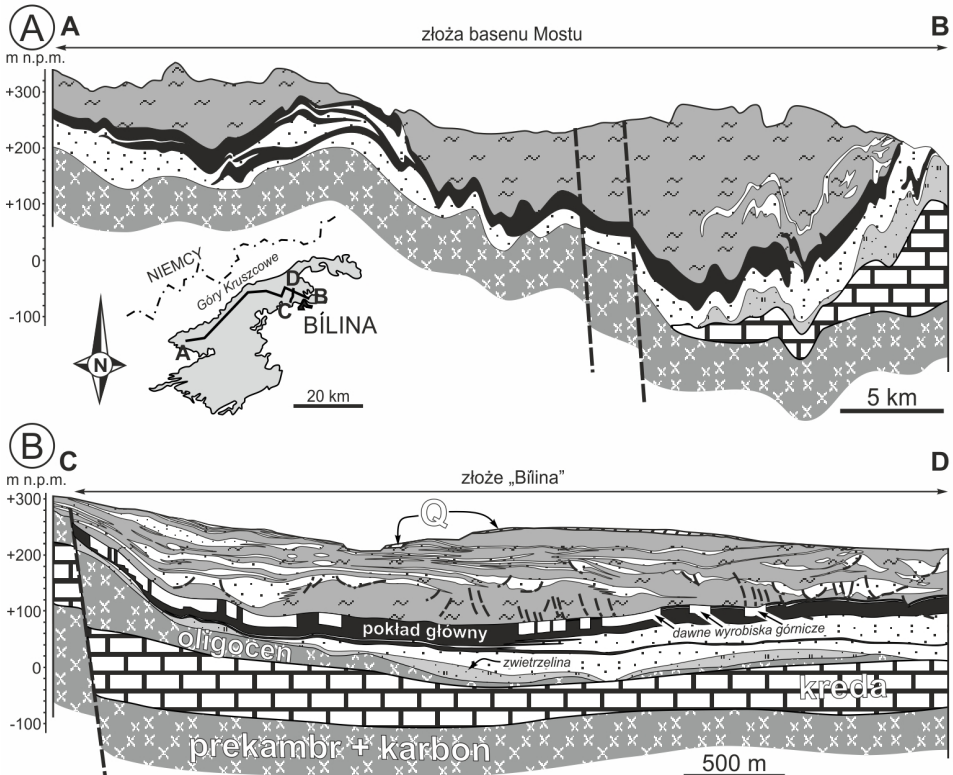
Basen Mostu stanowi środkowy fragment wzmiankowanego rowu Egeru (Ohrzy, Ohře). Basen ten ma długość ponad 50 km i zmienną

Lokalne środowisko sedimentacyjne	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru basenu Mostu	Chronostratygrafia
rzeczno-eoliczne		holocen, plejstocen (piaski, żwiry, lessy)	czwartorzęd
lądowe (erozja, brak osadów)		?	pliocen
jeziorno-rzeczne, torfowiskowe (iły, piaski, żwiry, węgle)		og. z Oseka pokład z Lomu	górny dolny m i o c e n
jeziorne (iły pylaste)		ogniwo z Libkovic	
ilasty poziom tufitowy wzbogacony w fosfor			
torfowiskowo-rzeczno-deltowe (węgle, piaski, iły)		ogniwo z Holešic	
wapienie słodkowodne, kreda jeziorna			
lądowo-rzeczno-deltowe (iły, brekcje; piaski, iły)		ogniwo z Duchcova	
wulkaniczne (bazaltoidy)		formacja ze Střezova	oligocen
rzeczne (piaski)		form. ze Starého Sedla	eocen
prekenozoik		gnejsy prekambryjskie, ryolity karbońskie, kredowe wapienie i piaskowce	

Ryc. 80. Litostratygrafia osadów kenozoicznych w basenie Mostu, Czechy (za: Mach i in. 2013, 2014, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 24

szerokość od mniej niż 2–3 km w części północno-wschodniej do ponad 25 km w części południowo-zachodniej oraz wypełniony jest osadami kenozoicznymi o miąższości ponad 500 m (ryc. 81, Rajchl i in. 2009). Architektura osadów kenozoicznych nawiązuje do ukształtowania powierzchni podkenozoicznej, co dowodzi ruchów tektonicznych w czasie i po ich akumulacji – tektonika syn- i postdepozycyjna. W części południowej basenu Mostu zarówno podłoże podkenozoiczne, jak i warstwy węglowe zalegają względnie płytko. Natomiast w jego północnej części (okolice Bílina) główny pokład węgla brunatnego zalega na głębokości nawet ponad 400 m, a starsze podłoże jeszcze 100–200 m głębiej (ryc. 81A). Przekrój geologiczny przez brzeżną, płytszą część złoża „Bílina” ukazuje bardziej szczegółowo wykształcenie litologiczne osadów kenozoicznych (ryc. 81B). Wprost na skałach kredy wyspowo zalegają oligoceńskie wulkanity i ich zwierzeliny o miąższości od 0 do ponad 100 m. Są one zaliczane odpowiednio do formacji ze Střezova i ogniwa z Duchcova (patrz ryc. 80). Pozostałe ponad 90%



Ryc. 81. Przekroje geologiczne przez złoża węgla brunatnego w Zagłębiu Północnoczeskim

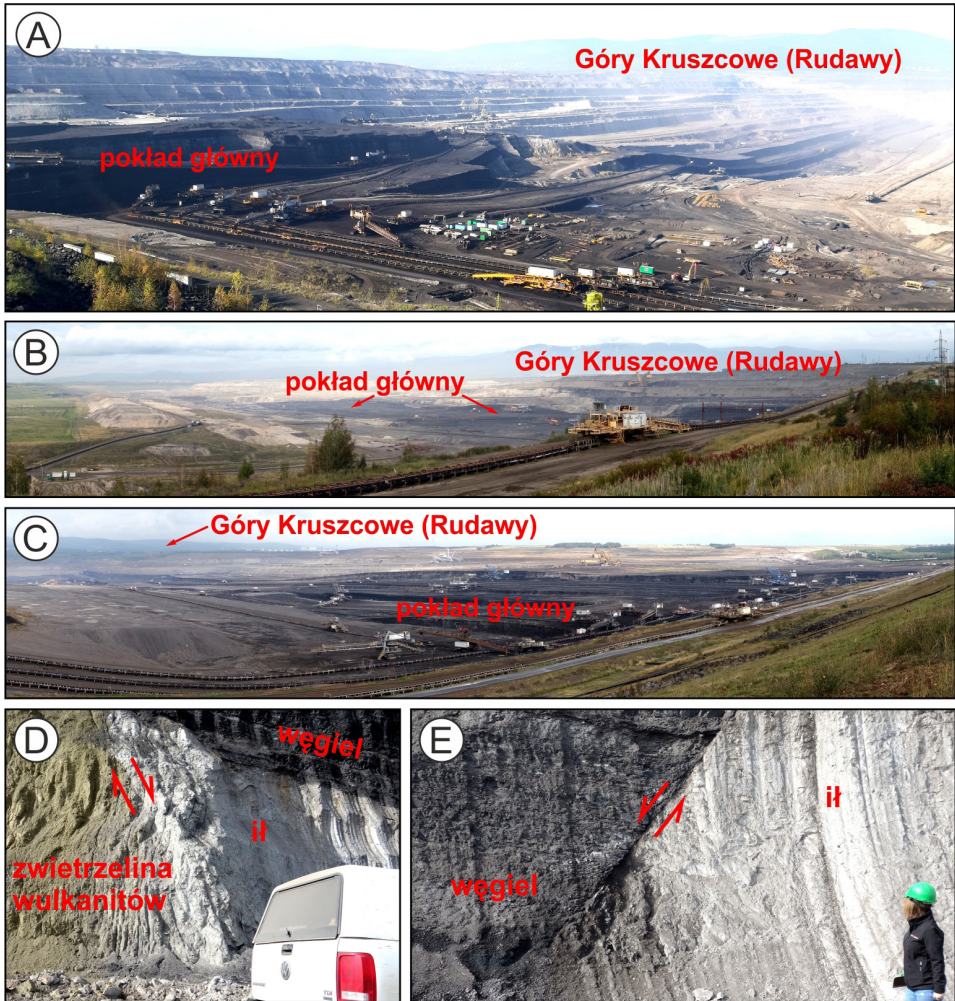
A – przekrój podłużny przez basen Mostu, objaśnienia patrz ryc. 81B (za: Matys Grygar i in. 2021, zmienione); B – przekrój poprzeczny przez złożo „Bílina” (za: Dvořák, Mach 1999, zmienione)

Inne objaśnienia jak na ryc. 20, 80

osadów dolnomiocenских obejmuje formacja z Mostu, w której dolnej części występują piaski i główny pokład węgla brunatnego – ogniwo z Holešic. Łączna miąższość tego ogniwa mieści się w przedziale 20–250 m, a średnia miąższość głównego pokładu węglowego wynosi około 30 m, osiągając ponad 50 m w lokalnych obniżeniach tektonicznych (Rajchl i in. 2009). Na znacznym obszarze złoża „Bílina” pokład główny dzieli się na 3 ławy węglowe, rozdzielone najczęściej łałami, o miąższości: 0–20 m – ława dolna, około 20 m – ława środkowa i niecałe 5 m – ława górna. Ponadto pokład ten jest „podziurawiony” niczym ser szwajcarski przez wyrobiska, które powstały w czasie eksploatacji głębinowej węgla. Wyżej występują w dominującej masie osady ilaste o grubości do 150–300 m, które zaliczane są do ogniwa z Libkovic. Wśród nich znajdują się przewarstwienia piaszczyste, typowe dla osadów rzeczno-deltowych, które często są zdeformowane, tj. zafałdowane i zuskokowane (Mach i in. 2013). Najmłodsze osady neogeńskie, reprezentujące ogniwo z Lomu (maks. 80–110 m), mają charakter bardziej lądowy, gdyż zawierają względnie cienką warstwę węgla brunatnego, tzw. pokład z Lomu (patrz ryc. 80). Na neogenie w sposób nieciągły spoczywają osady czwartorzędowe, których miąższość rzadko przekracza 10 m (ryc. 81B).

W Zagłębiu Północnoczeskim nadal funkcjonuje kilka odkrywek węgla brunatnego. Jednak w tej monografii pokazano i krótko scharakteryzowano najbardziej interesujące osady z 3 spośród nich, tj.: Bílina, Vršany i Nástup–Tušimice (ryc. 82, 83). W najniższej części odkrywki Bílina odsłaniają się oligocenские bazaltoidy i ich ilaste zwietrzeliny. W prezentowanym przypadku kontaktują się one wzdłuż uskoku normalnego z łałami podwęglowymi i pokładem węgla brunatnego (ryc. 82D). Podobnych przykładów w tej odkrywce można znaleźć więcej, gdzie uskoki przecinają osady podwęglowe, główny pokład węgla brunatnego, a niekiedy znajdują kontynuację także w osadach nadwęglowych (porównaj ryc. 81 i 82E).

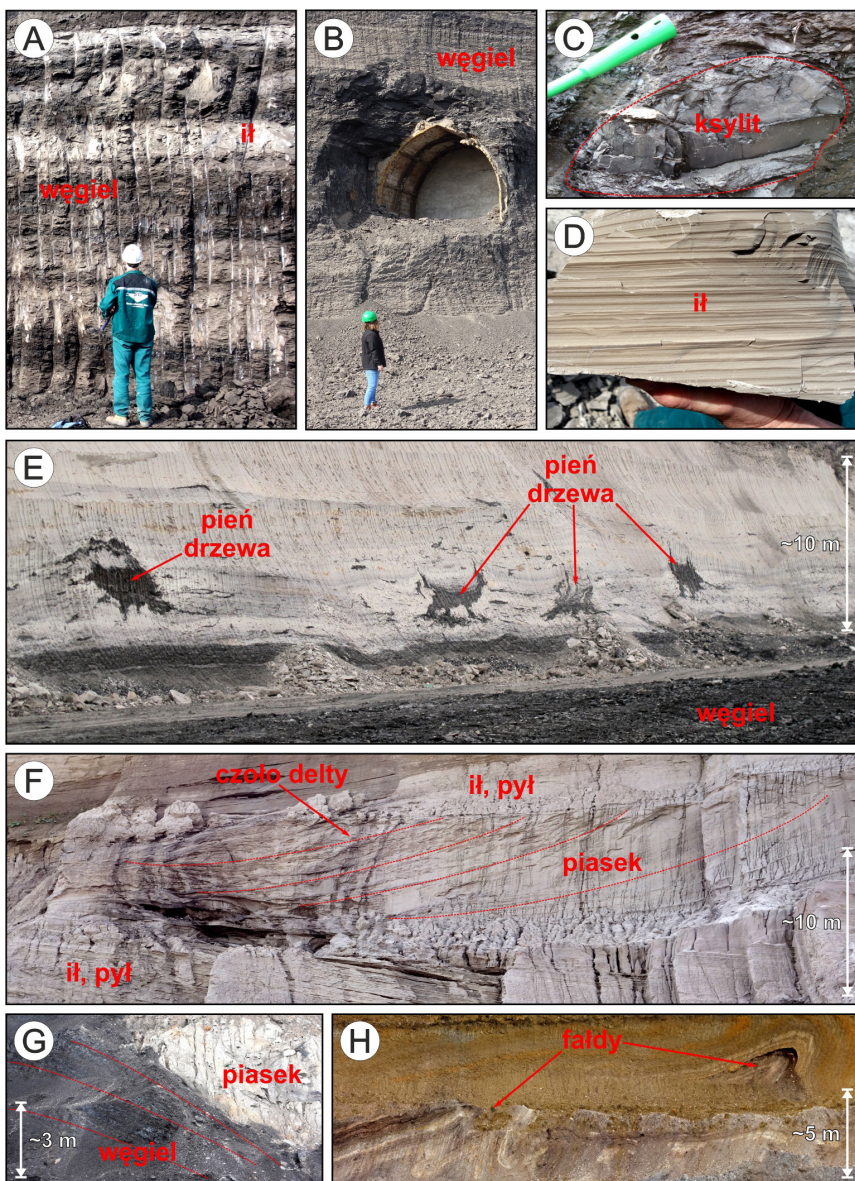
Spągowe partie pokładu węglowego są silnie zapopielone, co w terenie przejawia się w naprzemiennym występowaniu warstw węgla i ilitu (ryc. 83A). W obrębie pokładu głównego do dzisiaj znajdują się fragmenty obudowy chodników, które były drążone w okolicy Bíliny na początku XX wieku (ryc. 83B). Niestety tego typu artefakty bardzo utrudniają działalność górniczą, gdyż mogą uszkodzić czerpaki koparek węglowych. Poza tym niektóre partie złoża są nawet w 30–40% wyeksploatowane w wyniku wcześniejszego wydobycia podziemnego (patrz ryc. 81B). Omawiane węgle są względnie wysoko uwęglone (bardzo wysoka wartość opałowa, tab. 37), na co wskazuje zarówno wysoki stopień kompaktacji, jak i żelifikacji (ryc. 83C). Osady nadwęglowe reprezentują głównie środowisko jeziorne, a ich drobna laminacja niekiedy jest łatwo dostrzegalna (ryc. 83D). Wśród tych drobnoziarnistych osadów udokumentowano także dobrze zachowany poziom kopalnych pni miocenской roślinności drzewiastej (ryc. 83E). W obrębie wspomnianych osadów jeziornych (iłów i iłów pylastych), zazębiających się sedymentacyjnie z węglami brunatnymi, występują warstwy i soczewy piaszczyste. Część z nich jest typowa dla osadów czoła delty (ang. *foreset*), w tym przypadku dla tzw. delty Bíliny (ryc. 83F, Dvořák, Mach 1999, Rajchl i in. 2009), a część dla korytowych osadów rzecznych, pod których ciężarem doszło do deformacji niżej



Ryc. 82. Ogólny widok odkrywek i osadów w najniższej części odkrywki Bílina, Zagłębie Północnoczeskie (2019 rok, fot. M. Widera i K. Mach – ryc. 82A)
 A – odkrywka Bílina; B – odkrywka Vršany; C – odkrywka Nástup–Tušimice; D, E – kontakt tektoniczny głównego pokładu węglowego ze zwietrzelinami oligoceńskich bazaltoidów i ilów podwęglowych

zalegających węgla brunatnych (ryc. 83G). Interesujące mogą być też zaburzenia neogeńsko-czwartorzędowych osadów nadwęglowych. Te „podręcznikowo” wykształcone fałdy pochylone (ryc. 83H), choć przypominają deformacje glacitektoniczne, co należy z całą pewnością wykluczyć, są interpretowane jako skutek procesów peryglacialnych zachodzących na pierwotnie nachylonych powierzchniach terenu, czyli na stokach (K. Mach, informacja ustna).

Najprawdopodobniej eksploatacja węgla brunatnego w Czechach, w tym w Zagłębiu Północnoczeskim, rozpoczęła się na początku lat 50. XIX wieku (Vrablík i in. 2017). W następnych dziesięcioleciach wydobywanie powoli rosło, przekraczając



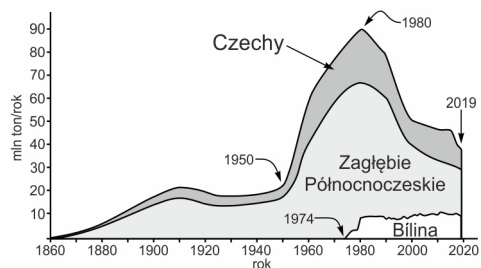
Ryc. 83. Przykłady najbardziej interesujących osadów odsłaniających się w odkrywkach Bilińa – A–F, Vršany – G i Nástup–Tušimice – H (2019 rok, fot. M. Widera i K. Mach – ryc. 83E)

A – przewarstwiające się węgle i iły; B – ślady górnictwa podziemnego (obudowa chodnika) z początków XX wieku; C – skompaktowany i żelazfikowany ksyliit; D – cienko laminowane iły jeziorne; E – poziom kopalnych pni drzew powyżej pokładu głównego; F – osady piaszczyste czoła delty wśród ilów i pyłów jeziornych; G – nachylone warstwy węgla pod ciężarem rzecznych osadów klastycznych; H – zafałdowane osady nadwęglowe w wyniku procesów stokowych zachodzących prawdopodobnie w warunkach peryglacjalnych

Tabela 37. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych dla złoża „Bílina” w Zagłębiu Północnoczeskim (opracowanie własne na podstawie danych kopalni Bílina)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
główny	wartość opałowa (Q_i^f)	MJ/kg	14,4
	popielność (A^d)	%	25,5
	zawartość siarki (S_i^d)	%	1,0
	N:W	–	7,6

20 mln ton w 1910 roku, z czego ponad 80% eksploatowano w Zagłębiu Północnoczeskim (ryc. 84). Następne blisko 40 lat to okres stabilizacji, który trwał do około 1950 roku. Kolejne trzy dekady to ciągły wzrost wydobywania węgla brunatnego we wszystkich zagłębiach. Historyczny szczyt wydobywania nastąpił w 1980 roku, kiedy czeskie górnictwo wyprodukowało ponad 90 mln ton węgla brunatnego, w tym prawie 70 mln ton pochodziło z Zagłębia Północnoczeskiego. Warto zauważyć, że w okolicach Bíliny przed 1944 rokiem wydobywanie wynosiło maksymalnie około 4 mln ton/rok. Po gwałtownym spadku w 1944 roku (poniżej 2 mln ton) zaczęło rosnąć do 9,3 mln ton w 1970 roku. Obecna odkrywka Bílina, początkowo funkcjonująca pod nazwą Maxim Gorkij, rozpoczęła eksploatację węgla w 1974 roku (ryc. 84). W następnych kilku latach zamknięto okoliczne mniejsze odkrywki. W tej sytuacji od 1983



Ryc. 84. Wydobywanie węgla brunatnego w Zagłębiu Północnoczeskim na tle wydobywania w Czechach (opracowanie własne na podstawie Vrablík i in. 2017 oraz innych źródeł)

roku wydobywanie na tym terenie jest prowadzone wyłącznie w odkrywce Bílina, w której średnioroczna produkcja wynosi 8–10 mln ton. Maksymalną ilość węgla (10,4 mln ton) wydobyto w 2011 roku, zaś najmniej w 2020 roku – 7,4 mln ton. Od 1980 roku w czeskim górnictwie zaznacza się wyraźny trend spadkowy, który w ostatnich latach jest jeszcze bardziej widoczny (ryc. 84). Potwierdza to wielkość wydobywania węgla brunatnego w Czechach, która wynosiła 37,5 mln ton w 2019 roku (Euracoal 2020).

7.3. Zagłębie Velenje – Słowenia

Zagłębie Velenje znajduje się w północnej Słowenii, w dolinie Šalek (nazwa pochodzi od zamku około miasta Velenje), na przedgórzu Alp. Jest to depresja tektoniczna, o długości około 12 km, szerokości około 4 km i rozciągłości WNW–ESE, zwana basenem Velenje. Tak więc omawiany obszar obejmuje śródgórski

rów tektoniczny, gdzie wśród osadów plioceńskich występuje bogate złożę węgla brunatnego (Markič, Sachsenhofer 1997). Warte jest ono omówienia nie tylko ze względów geologicznych, ale także dlatego, że jego eksploatacja odbywa się metodą głębinową w całej, blisko 150-letniej historii kopalni.

Litostratygrafia i budowa geologiczna basenu Velenje zostanie scharakteryzowana na podstawie badań A. Brezigara i jego współpracowników wykonanych w latach 1985–1987 (za: Markič, Sachsenhofer 1997, 2010). Na mezozoicznym podłożu, zbudowanym z triasowych wapieni i dolomitów, niezgodnie spoczywa kenozoik. W spągu są to zazębiające się andezyty i ily wieku oligoceńsko-miocenckiego, na których zalega plioceńsko-czwartorzędowa sukcesja węglonośna (ryc. 85). Tak zwany horyzont węglowy rozpoczynają ily węgliste, z cienkimi przewarstwieniami węgla brunatnego, które przechodzą sedimentacyjnie w główny pokład węgla. W spągowej części jest on silnie ily (ily margliste), zaś w stropie przykryty jest ciągłą warstwą margla – ily kredy jeziornej. Warstwa ta rozpoczyna grubą sekwencję jeziorną zbudowaną z iłów, piasków i margli. W górę profilu osady jeziorne (tzw. pliocen skrzydła wiszącego) przechodzą w osady jeziorno-torfowiskowe plejstocenu (piaski pylaste, węgle) oraz holocenijskie piaski i żwiry rzeczne. Wiek i zmiany klimatyczne w obrębie pliocenu węglonośnego są dobrze udokumentowane faunistycznie i florystycznie. Dlatego w ostatnim przypadku w obrębie nadwęglowej (jeziornej) sukcesji osadowej dobrze zaznacza się granica między środkowym a górnym pliocenem. Jest to granica między ciepłolubną, subtropikalną florą *Taxodium* i bardziej chłodnolubną florą *Fagus* (ryc. 85).

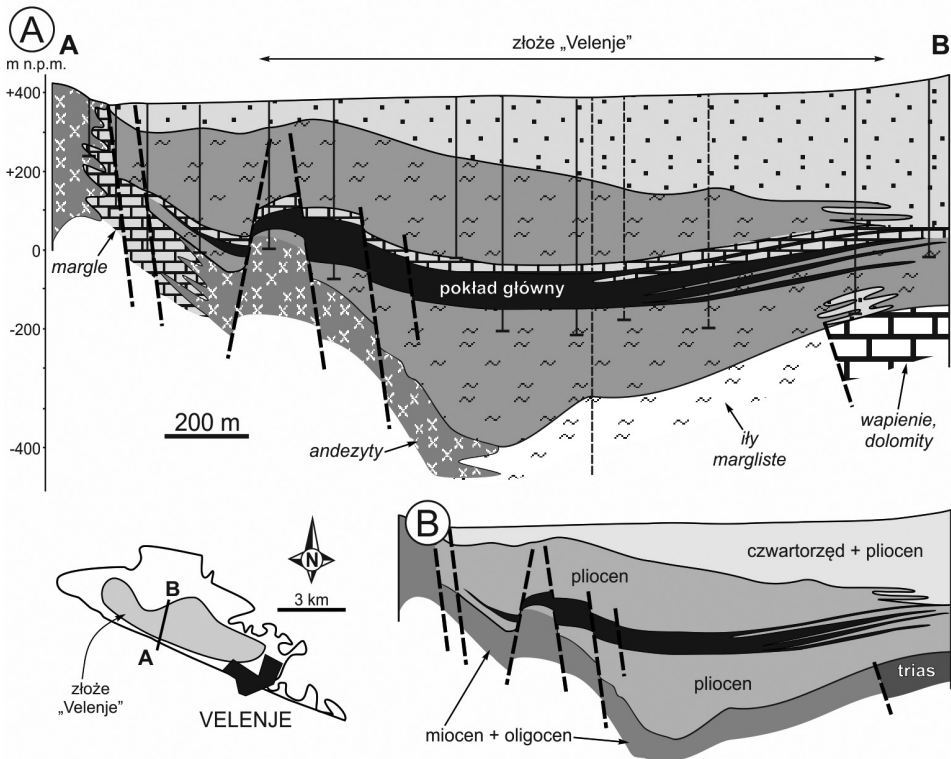
W kenozoiku, wzdłuż periadriatyckiego systemu uskokowego, rozwinął się basen Velenje (Markič, Sachsenhofer 2010). Jego podłoże i otoczenie zbudowane jest ze skał paleozoicznych i mezozoicznych, ale

Lokalne środowisko sedimentacyjne	Litologia	Litostratygrafia dla obszaru basenu Velenje	Chronostratygrafia
rzeczne		holocen (piaski i żwiry)	czwartorzęd
jeziorno-torfowiskowe		plejstocen (piaski pylaste, węgle)	
flora „ <i>Fagus</i> ” jeziorne (ily/piaski, ily, margle), rzeczne (piaski)		pliocen skrzydła wiszącego	górny
łądowe, jeziorno-rzeczne (ily, pyły, piaski, żwiry)		pliocen skrzydła zrzuconego warstwy bazalne	pliocen
mezozoik		trias (wapień, dolomity)	

Ryc. 85. Litostratygrafia osadów kenozoicznych w basenie Velenje, Słowenia (wg A. Brezigara za: Markič, Sachsenhofer 1997, zmienione)

Objaśnienia jak na ryc. 24

z punktu widzenia petrografii węgla najważniejsze wydają się triasowe wapienie i dolomity (ryc. 86). Basen ten wypełniony jest osadami kenozoicznymi o miąższości ponad 1 km, z czego około 200 m stanowią oligoceńsko-miocenские wulkany i ropy jeziorne. Pozostałe ponad 800 m obejmuje pliocencko-czwartorzędowa sukcesja torfowiskowo-jeziorno-rzeczna, zawierająca w dolnej części eksploatowany przez kopalnię Velenje główny pokład węgla brunatnego. Ma on rozciągłość około 8,3 km w kierunku WNW–ESE (zgodny z rozciągłością basenu sedimentacyjnego) i szerokość mieszczącą się w przedziale 1,5–2,5 km. Maksymalna miąższość pokładu głównego jest oceniana na 165,8–168 m, a średnia na 60 m (Markič, Sachsenhofer 2010). Największe miąższości węgla (ponad 160 m) występują w centralnej części basenu i zmniejszają się na zewnątrz. Należy zauważyć, że w kierunku południowym pokład węglowy stopniowo się wyklinowuje, a ku północy rozszczepia się na kilka ław węglowych, które zawierają węgiel o znacznie podwyższonej popielności. Ponadto niektóre partie złoże, np. w południowo-zachodniej jego części, są pionowo przemieszczone wzdłuż uskoków o zrzutach od kilku do ponad 50 m (ryc. 86). Kontakt między pokładem węglowym a wyżej zalegającymi osadami jeziornymi jest sedimentacyjny, ale ostry – warstwa ilastej



Ryc. 86. Poprzeczny przekrój geologiczny przez złoże węgla brunatnego „Velenje” w Zagłębiu Velenje (wg A. Brezigara za: Markič, Sachsenhofer 1997, zmienione)
Objaśnienia jak na ryc. 20, 85

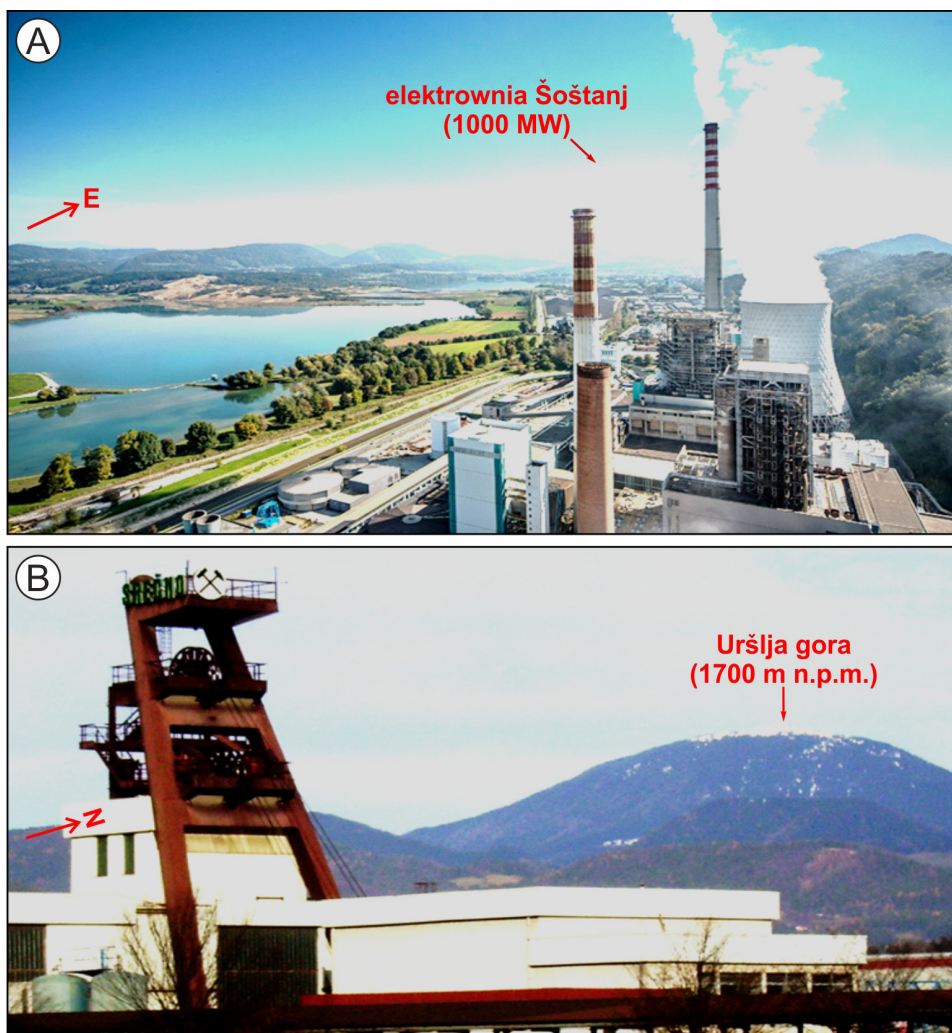
krety jeziornej, zwanej w terminologii lokalnej marglem, który powstał w płytkim jeziorze (Markič, Sachsenhofer 2010). Wyżej występujące ility reprezentują głębszą strefę jeziora, przechodzą one w górę profilu w ility i piaski płytkowodne oraz węgle brunatne o grubości do 3 m. Na nich erozyjnie zalegają grubsze frakcje, od piasków po żwirry rzeczne w stropie. Te bardziej gruboziarniste osady są wieku plioceńsko-czwartorzędowego, a ich miąższość wzrasta do ponad 400 m w północnej części basenu Velenje (ryc. 86).

Eksploatacja węgla w całej historii kopalni Velenje odbywa się metodą głębinową. Wydobywany węgiel jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej w pobliskiej elektrowni Šoštanj o mocy 1000 MW (ryc. 87A). Wyżej omówiona budowa geologiczna nadkładu (skały klastyczne) i sposób eksploatacji (podziemny) mają skutki widoczne na powierzchni terenu. Ponieważ węgiel jest wydobywany z głębokości poniżej 300 m od powierzchni terenu, jego ubytek powoduje stopniowy, ale ciągły proces obrywania się skał nad wyrobiskami podziemnymi. W efekcie powstały/powstają zagłębienia, które w sposób naturalny wypełniają się wodą, tworząc jeziora. Najgłębsze z nich, widoczne na fotografii, ma obecnie około 100 m głębokości (ryc. 87A). Z drugiej strony, sposób wydobycia węgla ze złoża „Velenje” nie przypomina tego, który stosuje się we wszystkich wyżej scharakteryzowanych zagłębiach węglowych. Ze względu na głębokość eksploatacji, stosuje się technologię taką, jak w kopalniach głębinowych węgla kamiennego. Po prostu urobek (węgiel) z głębokości ponad 300 m jest transportowany na powierzchnię za pomocą tzw. szybu głównego (ryc. 87B).

Podziemna działalność górnicza wymaga budowy dróg łączących główny szyb i fronty robocze, gdzie węgiel jest urabiany. W kopalni Velenje istnieje ponad 80 km podziemnych dróg dojazdowych, którymi przemieszczają się górnicy oraz transportowany jest węgiel (Markič, Sachsenhofer 2010). Drogi te mają średnicę około 4 m (ryc. 88A), długość 1 km i drażone są równoległe do siebie co 100 m. Wreszcie łączą się one, tworząc długą ścianę węglową (ang. *longwall lignite face*). Tak więc front eksploatacyjny ma zwykle około 100 m długości. W celu zabezpieczenia maszyn urabiających węgiel i taśmociągów przed zawałem stropu stosuje się zautomatyzowany, hydrauliczny system obudowy wyrobiska (ryc. 88B). Węgiel jest urabiany kombajnami przesuwanymi się wzdłuż frontu eksploatacyjnego (ryc. 88C).

Pierwsze wzmianki o węglu brunatnym w dolinie Šalek (basen, rów Velenje) pochodzą z lat 1766–1767. Natomiast wydobywanie na skalę lokalną 2,5-metrowego pokładu rozpoczęło się w 1829 roku koło wsi Pesje, oddalonej kilka kilometrów od Velenje. Przełomem w historii górnictwa było odkrycie w 1870 roku pokładu węgla o miąższości 37 m (na głębokości 101 m) w granicach obecnego miasta Velenje (Markič, Sachsenhofer 2010). Eksploatację najmłodszych warstw węgla w brzeżnych częściach złoża zaczęto w niewielkiej ilości około 1875 roku. Wiercenia wykonane w następnych latach potwierdziły występowanie pokładu węglowego o grubości ponad 100 m. Doprowadziło to do uruchomienia pierwszego szybu i rozpoczęcia eksploatacji węgla na skalę przemysłową w 1888 roku (ryc. 89).

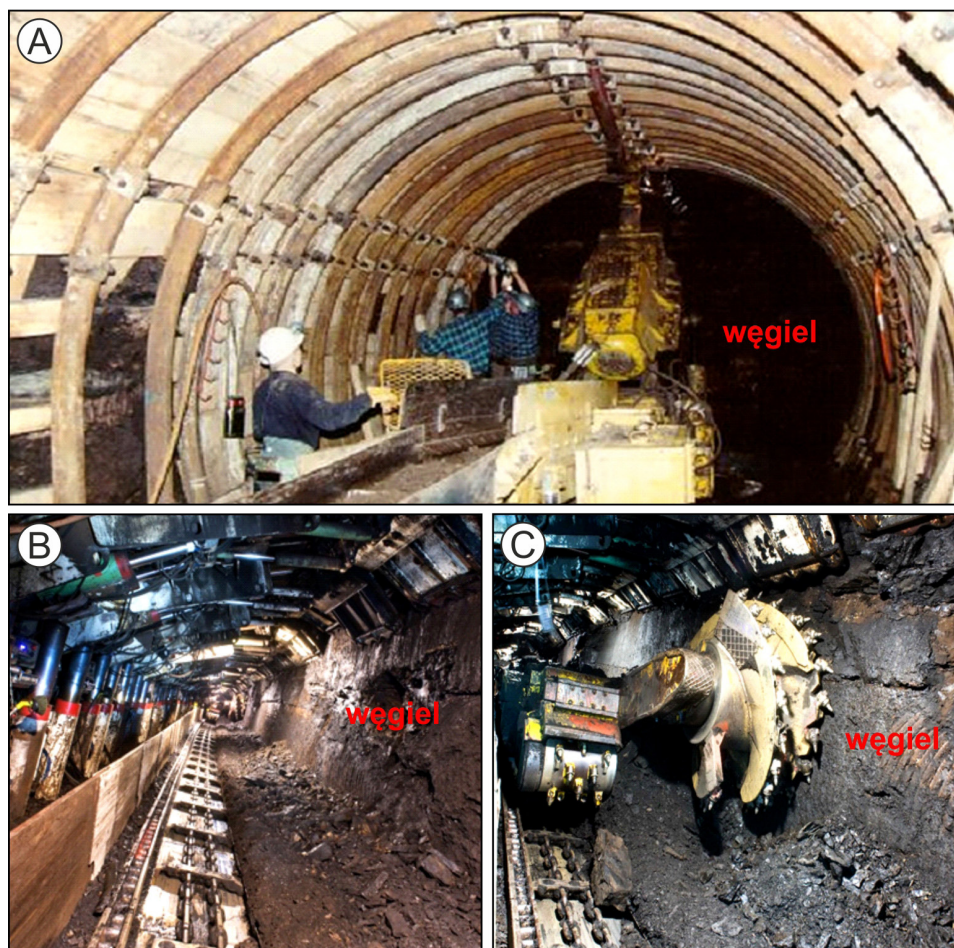
Przez długie dziesięciolecie węgiel z Zagłębia Velenje przegrywał konkurencję z węglem z innych słoweńskich zagłębi, mimo że cechował się dość wysoką



Ryc. 87. Widok naziemnej części kopalni Velenje (materiały Słoweńskiej Służby Geologicznej)

A – elektrownia Šoštanj spalająca miejscowy węgiel brunatny i jezioro zapadliskowe powstałe w wyniku eksploatacji podziemnej (2018 rok, fot. S. Mozetič, udostępnione przez M. Markiča); B – główny szzyb kopalni Velenje (2006 rok, fot. M. Markič, 2006)

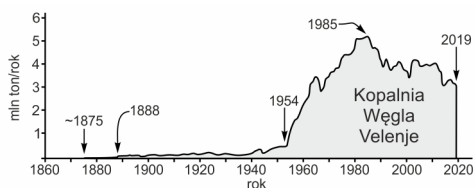
wartością opałową, ale też wysoką popielnością i zawartością siarki (tab. 38). Jedną z przyczyn była kosztochłonna eksploatacja podziemna, skutkująca tym, że do 1954 roku produkcja węgla nie przekroczyła 0,9 mln ton/rok. Dopiero uruchamianie kolejnych bloków miejscowej elektrowni Šoštanj (lata 1956–1977, ryc. 87A) zmieniło tę sytuację. Przez następne trzy dekady notowano szybki wzrost wydobycia aż do 2005 roku, kiedy kopalnia Velenje wyprodukowała około 5,2 mln ton węgla brunatnego, co było rekordem w jej długiej historii. W ostatnich 30 latach



Ryc. 88. Widok podziemnej części kopalni Velenje (materiały kopalni Velenje, udostępnione przez M. Markiča)

A – przygotowywanie drogi dojazdowej do frontu eksploatacyjnego; B – hydrauliczna obudowa frontu eksploatacyjnego; C – kombajn urabiający węgiel (fot. M. Beškovnik, udostępnione przez M. Markiča)

wydobyte jednak stopniowo spadało do poziomu 3,1 mln ton w 2019 roku (ryc. 89, Euracoal 2020).



Ryc. 89. Wydobyte węgla brunatnego w Zagłębiu Velenje (opracowanie własne na podstawie różnych źródeł)

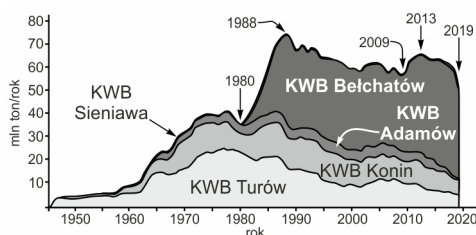
Tabela 38. Zestawienie uśrednionych parametrów chemiczno-technologicznych i geologiczno-górnicznych dla złoża węgla brunatnego „Velenje” (opracowanie własne na podstawie danych kopalni Velenje)

Pokład	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
główny	wartość opałowa (Q_i^r)	MJ/kg	10,5
	popielność (A^d)	%	24,6
	zawartość siarki (S_i^d)	%	2,15
	N:W	–	–

7.4. Porównanie wybranych zagłębi węgla brunatnego

Dla celów porównawczych wybrano największe zagłębia węglowe w następujących krajach: Polsce, Niemczech, Czechach i Słowenii. W scharakteryzowanych wyżej zagłębiach zagranicznych górnictwo węgla brunatnego na skalę przemysłową rozpoczęło się w latach 1850–1906, ale najwcześniej w Zagłębiu Północnoczeskim. Spowodowane to było przede wszystkim obecnością rozległych wychodni warstw węgla (o znacznej grubości) na powierzchni terenu (patrz ryc. 81A). Niedługo później, wraz z postępami rewolucji przemysłowej, zaczęto wykorzystywać węgiel z płytko występujących warstw także w Zagłębiu Dolnorenńskim i Velenje. Natomiast w największym polskim zagłębiu węglowym pierwsze tony węgla wydobyto kilkadziesiąt lat później, tj. w 1980 roku. W krótkim czasie węgiel z Zagłębia Bełchatowskiego zdominował polski rynek tej cennej kopaliny (ryc. 90). Biorąc jednak pod uwagę procentowy udział węgla brunatnego w wydobywaniu krajowym, to w 2019 roku przedstawiał się on następująco: Zagłębie Velenje – 100%, Zagłębie Północnoczeskie – około 80%, Zagłębie Bełchatowskie – około 77% i Zagłębie Dolnorenńskie – około 50% (tab. 39).

Budowa geologiczna złóż, należących do porównywanych zagłębi węglowych, w ogólnym ujęciu jest podoba. Przemawia za tym fakt, że wszystkie omawiane złoża reprezentują typ tektoniczny i podtyp w rowie (tab. 39), co wskazuje na rozwój torfowisk głównie w strefach osiowych rowów tektonicznych. Niemniej jednak różnią się one w szczególności, które świadczą o ich różnicach i podobieństwach do pozostałych złóż węgla brunatnego. Przykładowo złoża Zagłębia Dolnorenńskiego powstały w pobliżu brzegów morza – złoża paraliczne. Dowodzi tego zazębienie się pokładów węglowych z osadami morskimi (patrz ryc. 75, 78A, B). Natomiast złoża z pozostałych zagłębi węglowych powstały w warunkach torfowiskowo-jeziornych – złoża limniczne. Najlepiej jest to wyrażone w złożach Zagłębia



Ryc. 90. Wydobycie węgla brunatnego w polskich kopalniach po 1945 roku (opracowanie własne na podstawie: Kasztelewicz 2004, Tajduś i in. 2014, Mazurek, Tyimiński 2020, dane kopalniane)

jednak różnią się one w szczególności, które świadczą o ich różnicach i podobieństwach do pozostałych złóż węgla brunatnego. Przykładowo złoża Zagłębia Dolnorenńskiego powstały w pobliżu brzegów morza – złoża paraliczne. Dowodzi tego zazębienie się pokładów węglowych z osadami morskimi (patrz ryc. 75, 78A, B). Natomiast złoża z pozostałych zagłębi węglowych powstały w warunkach torfowiskowo-jeziornych – złoża limniczne. Najlepiej jest to wyrażone w złożach Zagłębia

Północnoczeskiego, gdzie węgle przechodzą sedymentacyjnie w osady delty jeziornej i ily jeziorne (patrz ryc. 80, 83A, E, F). Z kolei Zagłębie Velenje jest dobrym przykładem zmian głównych środowisk sedymentacyjnych, tj. od jeziornych po torfowiskowe i ponownie jeziorne (patrz ryc. 85). W przypadku Zagłębia Bełchatowskiego o etapach jeziornych w czasie powstawania głównego pokładu węgla świadczą miększe warstwy kredy jeziornej/wapieni jeziornych i ilów jeziornych, zazębiających się z węglami i piaskami stożków aluwialnych (patrz ryc. 52C, E, 53). Należy także dodać, że jedynie złoża bełchatowskie są przedzielone wysadem solnym (patrz ryc. 51, 52D), a skały podłoża mezozoicznego odsłaniają się w odkrywkach kopalnianych (patrz ryc. 52A, B). Z drugiej strony, w odkrywkach Zagłębia Północnoczeskiego odsłaniają się kenozoiczne wulkanity i/lub ich

Tabela 39. Porównanie największych zagłębi węgla brunatnego w Polsce, Niemczech, Czechach i Słowenii (opracowanie własne)

Cecha lub parametr zagłębia/złoża	Polska, Zagłębie Bełchatowskie	Niemcy, Zagłębie Dolnoreńskie	Czechy, Zagłębie Północnoczeskie	Słowenia, Zagłębie Velenje
początek eksploatacji	1980 rok	~1880 rok	~1850 rok	~1875 rok
maks. wielkość wydobycia (rok)	44,3 mln ton (2018)	> 120 mln ton (1984)	~70 mln ton (1980)	~5,2 mln ton (2005)
wielkość wydobycia w 2019 roku	40,8 mln ton	~65 mln ton	~30 mln ton	~3,1 mln ton
udział w krajowym wydobyciu w 2019 roku	~77%	~50%	~80%	100%
średnia wartość opałowa – Q_r^r	8,4–9,1 MJ/kg*	7,8–10,5 MJ/kg	14,4 MJ/kg**	10,5 MJ/kg
średnia popielność – A^d	19,8–24,6%*	1,5–8,0%	25,5%**	24,6%
średnia zawartość siarki – S_t^d	1,1–2,1%*	0,15–0,5%	1,1%**	2,15%
maks. miąższość węgla	~250 m	~100 m	~50 m	~170 m
współczynnik liniowy N:W	2,6–3,2*	2,5–5,0	7,6**	–
sposób eksploatacji	odkrywkowo	odkrywkowo	odkrywkowo	głębinowo
wiek eksploatowanego węgla	wczesny środkowy miocen	wczesny środkowy miocen	wczesny miocen	środkowy pliocen
typ i podtyp genetyczny złoża (nazwa rowu)	typ tektoniczny, podtyp w rowie (rów Kleszczowa)	typ tektoniczny, podtyp w rowie (rów dolnego Renu)	typ tektoniczny, podtyp w rowie (rów Egeru, Ohrzy)	typ tektoniczny, podtyp w rowie (rów Velenje)

* – dotyczy złóż „Bełchatów” i „Szczerców”, ** – dotyczy złoża „Bilina”

zwietrzliny (patrz ryc. 82D). Ta cecha upodabnia je do odkrywki Turów, zlokalizowanej w północno-wschodniej części rowu Egeru, który obejmuje tereny Czech, Niemiec i Polski.

Z górniczego i energetycznego punktu widzenia najbardziej wartościowy jest węgiel z Zagłębia Północnoczeskiego, który jest bliski węglowi brunatnemu twar demu. Jego wartość opałowa jest o ponad 30–40% wyższa niż w pozostałych zagłębiach. Wy tłumaczeniem tej „anomalii” wydaje się wulkanizm, który w przypadku czeskiej części rowu Egeru miał miejsce nie tylko przed, ale też po akumulacji torfu. Tak więc intruzje wulkaniczne spowodowały najprawdopodobniej wzrost tzw. temperatury kontaktowej, co w efekcie doprowadziło do znacznie wyższego stopnia uwęglenia niż w innych złożach. Podwyższony stopień geotermiczny w górskich terenach Słowenii wydaje się także odpowiadać za dobrą jakość plioceńskich węgla z Velenje. Z kolei węgle z Zagłębia Dolnoreńskiego cechują się zdecydowanie najniższą popielnością (poniżej 8%) i najniższą zawartością siarki (poniżej 0,5%). O ile niską popielność można byłoby tłumaczyć charakterem torfowisk paralicznych (nadmorskich), to tak niska zawartość siarki temu przeczy. Średnia miąższość węgla w eksploatowanych częściach czterech porównywanych zagłębi wynosi od 30 m (Zagłębie Północnoczeskie i Zagłębie Dolnoreńskie) do 50–60 m (Zagłębie Bełchatowskie i Zagłębie Velenje). Jednak największa ciągła grubość pokładu węglowego została stwierdzona w złożu „Bełchatów”, która przekracza 250 m (tab. 39, Piwocki 1992). Wreszcie należy raz jeszcze podkreślić, że jedynie w Zagłębiu Velenje węgiel jest eksploatowany głębinowo (patrz ryc. 88), a w pozostałych zagłębiach odkrywkowo (patrz ryc. 52, 53, 77, 78, 82, 83).

8. Perspektywa rozwoju górnictwa węgla brunatnego w Polsce

8.1. Alternatywne sposoby wykorzystania

Węgiel brunatny to wielkie bogactwo, z którego przez dziesięciolecia produkowano nawet ponad 35% najtańszej energii elektrycznej w Polsce. Jednak zmiany zachodzące na świecie, w tym aktualna polityka klimatyczna (patrz rozdz. 8.2), prowadzą nieuchronnie do zaniechania jego wykorzystania w sposób konwencjonalny. W przypadku polskiego węgla brunatnego chodzi o jego odkrywkowe wydobycie i spalenie w elektrowniach w celu produkcji prądu i/lub ciepła. Dlatego z wielką nadzieją należy patrzeć na inne, tzw. niekonwencjonalne, sposoby jego zagospodarowania.

Metodom niekonwencjonalnego, „czystego” zagospodarowania polskich złóż węgla brunatnego poświęcono dużo uwagi (np. Nowak, Barańska-Buslik 2011, Stańczyk i in. 2011, Kasiński i in. 2012, Kasztelewicz i in. 2013, Bielowicz, Kasiński 2014, Matl i in. 2014, Bielowicz 2016a, b, 2019, Urbański, Saternus 2017, Bucha i in. 2018, 2020, Detman i in. 2018, Szafranek-Nakonieczna i in. 2018, Urbański, Widera 2020, Pytlak i in. 2021 i inne prace tam cytowane). Zgazowanie węgla można prowadzić na powierzchni terenu – *ex situ* i w miejscu jego występowania, czyli w złożu – *in situ*. Z drugiej strony, węgiel może być zgazowany termicznie – spalony lub biochemicznie – przy użyciu odpowiednich szczepów bakterii lub grzybów. W pierwszym przypadku powstaje gaz syntezowy (syngaz), a w drugim gaz biogeniczny (biogaz) (Iciek i in. 2009).

Wśród wymienionych „czystych” metod wykorzystania węgla najbardziej zaawansowane badania są prowadzone nad jego podziemnym zgazowaniem (ang. *underground coal gasification*, UCG) w wysokich temperaturach. Polega ono na spalaniu węgla w złożu poprzez doprowadzenie do pokładu węglowego tlenu i pary wodnej. W efekcie powstaje wspomniany syngaz, który jest mieszaniną głównie następujących gazów: H_2 , CH_4 , CO i CO_2 . Uzyskany syngaz podlega następnie oczyszczeniu. Część jego produktów może znaleźć różne zastosowanie (np. ogrzewanie, przemysł chemiczny, produkcja energii elektrycznej), a część oddzielnego CO_2 może być kierowana z powrotem pod ziemię i składowana w pokładach węgla brunatnego, które nie są przewidziane do zagospodarowania. Więcej szczegółowych informacji na temat historii i technologii UCG zainteresowany czytelnik może znaleźć m.in. w następujących publikacjach: Bednarczyk (2007),

Hajdo i in. (2010), Kapusta i in. (2010), Kasiński i in. (2012), Bielowicz, Kasiński (2014), Dubiński, Turek (2016), Sobczyk i in. (2017 i inne prace tam cytowane).

Wśród badaczy dominuje pogląd, że polskie złoża węgla brunatnego nie nadają się do zastosowania metody UCG. W wielu z wymienionych wyżej publikacji przedstawiono kryteria, które muszą być spełnione, by złożo węglowe nadawało się do UCG. Z prac tych wynika jeden ogólny wniosek, że dla każdego złoża węgla brunatnego powinny być sformułowane indywidualne kryteria. Niemniej jednak na podstawie znajomości budowy geologicznej i weryfikacji przyjętych kryteriów uznano, że następujące złoża nadają się wykorzystania za pomocą technologii UCG: „Gostyń”, „Kamieńsk”, „Krzywiń”, „Ścinawa-Głogów”, „Torzym” i „Węglewice” (Bielowicz, Kasiński 2014). Autorzy ci zastrzegli jednak, że dodatkowe badania (głównie dotyczące budowy geologicznej nadkładu) są potrzebne przed podjęciem decyzji o podziemnym zgazowaniu. Innymi słowy, należy dokładnie sprawdzić czy „pokrywka” (nadkład) jest szczelna na „garnku” (złożo), w którym będzie spalany węgiel brunatny w temperaturze co najmniej kilkaset stopni Celsjusza.

W okresie dyskusji nad zagospodarowaniem złoża „Złoczew”, zwłaszcza jego fragmentów niespełniających kryteriów bilansowości dla eksploatacji odkrywkowej, zaproponowano zastosowanie metody UCG (Urbański, Saternus 2017). W późniejszym czasie, kiedy uruchomienie odkrywki na złożu „Złoczew” wydawało się przesądzone (sprawa decyzji środowiskowej ciągle się toczy, lipiec 2021 roku), nieco zweryfikowano wcześniejszą propozycję. Zaproponowano, że pilotażowa, a później komercyjna instalacja UCG mogłaby powstać dopiero po zakończeniu funkcjonowania odkrywki (Urbański, Widera 2020). Pozwoliłoby to na szczegółowe poznanie budowy nadkładu, czyli szczelności wzmiankowanej „pokrywki”, a następnie na podjęcie ostatecznej decyzji o zgazowaniu niewykorzystanych partii złoża. Niestety zarówno uruchomienie odkrywki, jak i pierwszej w Polsce instalacji UCG pracujących na złożu „Złoczew” są coraz bardziej przesuwane w czasie. Dlatego rozwój górnictwa węgla brunatnego w Polsce, w kontekście polityki klimatycznej i ochrony środowiska (patrz rozdz. 8.2), wydaje się bardzo ograniczony.

8.2. Polityka klimatyczna i środowisko

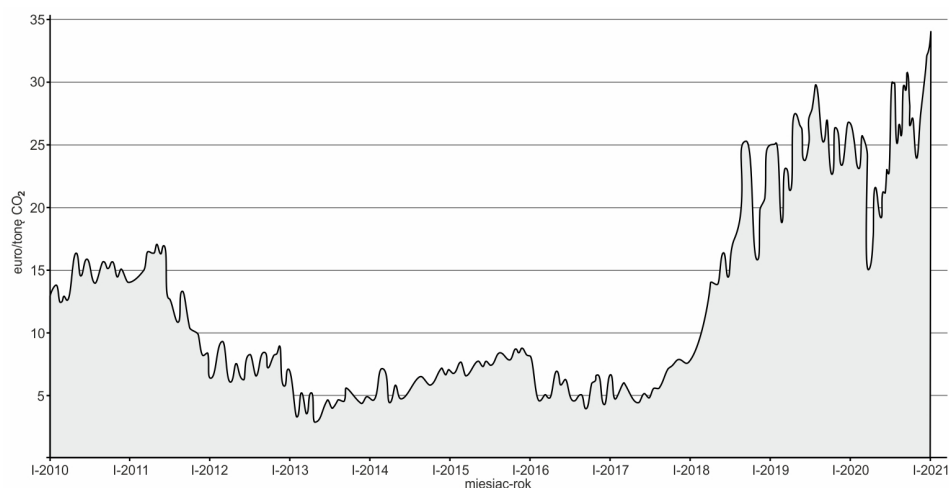
Co kilka lat powstaje w Polsce nowe opracowanie przedstawiające zamierzenia władz państwowych związane z polityką energetyczną i klimatyczną na najbliższe dziesięciolecie. Najnowszy taki dokument został zatwierdzony przez Radę Ministrów 2 lutego 2021 roku. Nosi on nazwę „Polityka energetyczna Polski do 2040 r.”, w skrócie PEP2040, zastąpił on „Politykę energetyczną Polski do 2030 r.” oraz strategię „Bezpieczeństwo energetyczne i środowisko – perspektywa do 2020 r.” (PEP2040 2021). Nowa polityka energetyczna nierozdzielnie związana jest z krajową polityką klimatyczną, a ta z polityką klimatyczno-energetyczną Unii Europejskiej (UE). W ostatnim przypadku zakłada się osiągnięcie neutralności klimatycznej UE do 2050 roku. Należy w tym miejscu dodać, że

Rada Europejska zatwierdziła w grudniu 2020 roku zaktualizowany unijny cel klimatyczny, który zakłada:

- ograniczenie emisji netto gazów cieplarnianych (GHG, ang. *greenhouse gases*) do 2030 roku o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 roku;
- ponad 32-procentowy udział źródeł odnawialnych w zużyciu finalnym energii brutto;
- wzrost efektywności energetycznej o 32,5%;
- ukończenie budowy wewnętrznego rynku energii UE (PEP2040 2021).

Powyższe ambitne cele klimatyczne wymusiły na Polsce przedstawienie nowej PEP2040, która obejmuje przede wszystkim transformację energetyczną naszego kraju. Według założeń transformacja ta ma być niskoemisyjna (cokolwiek to znaczy?) poprzez budowę elektrowni jądrowych i wiatrowych na morzu. Planuje się, że moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych na morzu będzie wynosić około 5,9 GW w 2030 roku i około 11 GW w 2040 roku. Z kolei zainstalowana moc z fotowoltaiki wzrośnie z około 5–7 GW w 2030 roku do około 10–14 GW w 2040 roku. Niemniej jednak najważniejszym założeniem w PEP2040 jest to, że w 2030 roku udział węgla (kamiennego i brunatnego) w produkcji energii elektrycznej w Polsce wyniesie mniej niż 56%. Niestety nie podano, ile z tego będzie przypadało na węgiel brunatny. Napisano jedynie bardzo enigmatycznie, że: „Zapotrzebowanie na węgiel brunatny będzie pokrywane przez zasoby krajowe, w niewielkiej odległości od miejsca wykorzystania. Złoża perspektywiczne („Złoczew” i „Ościsłowo”), ze względu na swój strategiczny charakter, zostaną zabezpieczone, jednakże ich eksploatacja będzie zależna od decyzji inwestorów. Kluczową rolę w ich zagospodarowaniu odegrają ceny uprawnień do emisji CO₂, warunki środowiskowe i rozwój nowych technologii”. Poza tym bardzo ogólnikowo i życzeniowo wskazano na alternatywne (scharakteryzowane wyżej) sposoby wykorzystania węgla (kamiennego czy brunatnego?) pisząc: „Działalność badawczo-rozwojowa powinna być ukierunkowana na poszukiwanie innowacji służących redukcji obciążeń środowiska w wyniku wydobycia węgla oraz nowych rozwiązań przyczyniających się do niskoemisyjnego, efektywnego i elastycznego wykorzystania surowca (np. zgazowanie, paliwa płynne)” (PEP2040 2021).

W innym miejscu PEP2040 jest napisane, że węgiel pozostanie ważnym elementem bezpieczeństwa energetycznego Polski. Jednak przy podwyższonych (jak bardzo?) cenach uprawnień do emisji CO₂ jego udział w miksie energetycznym może spaść nawet do poziomu 37,5% w 2030 roku (PEP2040 2021). Niestety dokument ten nie wyjaśnia, o który rodzaj węgla i w jakim stopniu chodzi (kamienny czy brunatny?) oraz w jaki sposób zostaną uzupełnione niedobory energii elektrycznej. Podsumowując, przyszłość górnictwa węgla brunatnego w Polsce jest niepewna. Zależy ona nie tylko od polityki klimatycznej krajowej i UE, ale także, a może przede wszystkim, od bardzo zmieniających się cen uprawnień do emisji CO₂ (ryc. 91). Jeszcze w latach 2013–2017 koszty tych uprawnień mieściły się w przedziale 3–8 euro za tonę CO₂. Od początku 2018 roku ich ceny zaczęły szybko rosnąć do około 30 za tonę CO₂. Następnie po dużych wahaniach i blisko 2-krotnym (ok. 15 euro) spadku ceny omawianych uprawnień znów zaczęły rosnąć, osiągając ponad 33,5 euro na początku 2021



Ryc. 91. Zmiany cen uprawnień do emisji CO₂ w latach 2010–2021 (opracowanie własne na podstawie różnych źródeł i Euracoal 2020)

roku (ryc. 91). Warto dodać, że w kwietniu 2021 roku przekroczyły one psychologiczną granicę 50 euro za tonę CO₂.

Kolejnym zagrożeniem dla przyszłości polskiego górnictwa węgla brunatnego są lub mogą być międzypaństwowe konflikty, dotyczące ochrony środowiska. Najlepszym przykładem jest KWB Turów, która sąsiaduje z Niemcami i z Czechami. To właśnie spór z Czechami skutkowało wydaniem przez TSUE (Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej), dnia 21 maja 2021 roku nakazu natychmiastowego wstrzymania wydobycia węgla do czasu rozstrzygnięcia sporu. W pozwie skierowanym do TSUE Czesi jako główną przyczynę podali negatywny wpływ odwadniania odkrywki Turów na regiony przygraniczne, w tym przede wszystkim na obniżenie poziomu wód gruntowych. Wzmiankowany konflikt przybrał na sile, kiedy polskie władze państwowe zignorowały prośbę Czechów o przekazanie im pełnych informacji w związku z procedurą wydawania pozwolenia (koncesji) na wydobycie węgla do 2026 roku. Niestety koncesja ta została wydana w 2020 roku bez odpowiednich badań środowiskowych, co zdaniem Czechów bezpośrednio narusza zasady lojalnej współpracy wynikającej z Traktatu o Unii Europejskiej.

W zaistniałej sytuacji na prośbę strony polskiej doszło dnia 24 maja 2021 roku do pilnego spotkania w Libercu przedstawicieli Polski i Czech różnego szczebla. W pośpiechu podpisano umowę, na mocy której Polska zobowiązała się m.in. do wpłaty 40–45 mln euro na sfinansowanie kosztów eliminacji negatywnych skutków działalności KWB Turów i monitorowanie jej wpływu na środowisko. W zamian Czechy zadeklarowały wycofanie skargi wniesionej do TSUE w określonym terminie. Porozumienie to, po zatwierdzeniu przez rząd czeski, ma dopiero umożliwić szczegółowe negocjacje między Czechami a Polską. Z drugiej strony, nawet pozytywne zakończenie negocjacji dwustronnych nie oznacza zakończenia rozpoczętej procedury przeciwko Polsce, którą „z urzędu” może podjąć Komisja

Europejska. Jak się ten spór zakończy, okaże się w nadchodzących miesiącach, zapewne po publikacji niniejszej monografii. Dlatego zainteresowany czytelnik proszony jest o śledzenie informacji medialnych w sprawie konfliktu między Polską i Czechami, a być może także Niemcami, o wydobycie węgla brunatnego ze złoża „Turów”.

Literatura

- Adamczyk K., Jończyk M.W., Skórzak A., 2012. Kopaliny towarzyszące eksploatacji złoża węgla brunatnego Bełchatów. *Kalendarium. Górnictwo Odkrywkowe*, 53, 1–2, 25–40.
- ASTM D 388:2005. Standard Classification of Coals by Rank. American Society for Testing and Materials.
- Badera J., Kocoń P., 2014. Local community opinions regarding the socio-environmental aspects of lignite surface mining: experiences from central Poland. *Energy Policy*, 66, 507–516.
- Bahranowski K., Gawel A., Górniak K., Ratajczak T., Szydłak T., Jończyk M.W., 1997. Litologia i geneza zsylikowanych osadów grubookruchowych z kompleksu ilasto-piaszczystego złoża węgla brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe*, 39, 1–2, 28–41.
- Bartuś T., 2003. Parametry chemiczno-technologiczne i oparte na nich klasyfikacje węgla brunatnych. Badania statutowe nr: 11.11.140.808. Archiwum AGH, Kraków.
- Bechtel A., Widera M., Lücke A., Groß D., Woszczyk M., 2020. Petrological and geochemical characteristics of xylites from the First Lusatian lignite seam (Konin Basin, Poland): implications for floral sources, decomposition and environmental conditions. *Organic Geochemistry*, 147, 104052.
- Bechtel A., Widera M., Sachsenhofer R.F., Gratzner R., Lücke A., Woszczyk M., 2007. Biomarker and stable carbon isotope systematics of fossil wood from the second Lusatian lignite seam of the Lubstów deposit (Poland). *Organic Geochemistry*, 38, 1850–1864.
- Bechtel A., Widera M., Woszczyk M., 2019. Composition of lipids from the First Lusatian lignite seam of the Konin Basin (Poland): relationships with vegetation, climate and carbon cycling during the mid-Miocene Climatic Optimum. *Organic Geochemistry*, 138, 103908.
- Bednarczyk J., 2007. Rozwój technologii podziemnego zgazowania węgla i perspektywy jej przemysłowego wdrożenia. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 31, 87–104.
- BGR, 2020. BGR Energy Study 2019. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover.
- Białas S., Białas M., 1998. *Grudna. Kopalnia i ludzie*. Wydawnictwo Poldex, Kraków.
- Bielowicz B., 2010. New technological classification of lignite as a basis for balanced energy management. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 26, 2, 25–39.
- Bielowicz B., 2012. A new technological classification of low-rank coal on the basis of Polish deposits. *Fuel*, 96, 497–510.
- Bielowicz B., 2016a. Litotyp węgla jako jeden z wyznaczników przydatności węgla brunatnego w czystych technologiach węglowych. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN*, 94, 79–90.
- Bielowicz B., 2016b. The suitability of polish ortho-lignite deposits for clean coal technologies. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi–Mineral Resources Management*, 32, 109–127.

- Bielowicz B., 2019. The suitability of Polish lignite for gasification. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 1115–1130.
- Bielowicz B., 2020. Changes in the spontaneous combustion tendency of humic coals according to their petrographic composition and physico-chemical properties. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 36, 2, 197–218.
- Bielowicz B., Kasiński J.R., 2014. The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits. *International Journal of Coal Geology*, 131, 304–318.
- Bielowicz B., Morga R., 2021. Micro-Raman Spectroscopy of Selected Macerals of the Huminite Group: An Example from the Szczerców Lignite Deposit (Central Poland). *Energies*, 14, 281.
- Borowicz A., Frankowski R., Gądek A., Jończyk M.W., Specylak-Skrzypecka J., Ślusarczyk G., 2007. Złoże węgla brunatnego „Złoczew” – budowa geologiczna, zasoby i perspektywy eksploatacji. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 31, 2, 141–150.
- BP, 2019. BP Statistical Review of World Energy 2019, 68th ed.
- Brzyski B., 1984. O pochodzeniu węgla brunatnego. *Nauka dla wszystkich*. Wydawnictwo PAN, o. Kraków, Ossolineum.
- Bucha M., Detman A., Pleśniak Ł., Drzewicki W., Kufka D., Chojnacka A., Mielecki D., Krajniak J., Jędrysek M.O., Sikora A., Marynowski L., 2020. Microbial methane formation from different lithotypes of Miocene lignites from the Konin Basin, Poland: Geochemistry of the gases and composition of the microbial communities. *International Journal of Coal Geology*, 229, 103558.
- Bucha M., Jędrysek M.O., Kufka D., Pleśniak Ł., Marynowski L., Kubiak K., Błaszczuk M., 2018. Methanogenic fermentation of lignite with carbon-bearing additives, inferred from stable carbon and hydrogen isotopes. *International Journal of Coal Geology*, 186, 65–79.
- Chomiak L., 2020. Crevasse splays within a lignite seam at the Tomisławice opencast mine near Konin, central Poland: architecture, sedimentology and depositional model. *Geologos*, 26, 1, 25–37.
- Chomiak L., Maciaszek P., Wachocki R., Widera M., Zieliński T., 2019. Seismically-induced soft-sediment deformation in crevasse-splay microdelta deposits (Middle Miocene, central Poland). *Geological Quarterly*, 63, 1, 162–177.
- Chomiak L., Urbański P., Widera M., 2020. Architektura i geneza ilów w górnym poziomie węgla brunatnych formacji poznańskiej (środkowy miocen) – odkrywka Tomisławice koło Konina w środkowej Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 68, 6, 526–534.
- Christanis K., Georgakopoulos A., Fernández-Turiel J.L., Bouzinos A., 1998. Geological factors influencing the concentration of trace elements in the Philippi peatland, eastern Macedonia, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 36, 295–313.
- Ciuk E., 1961. Charakterystyka chemiczna węgla brunatnego ze złoży w Rogóźnie na północ od Łodzi i możliwości jego zużytkowania. *Kwartalnik Geologiczny*, 5, 4, 956–957.
- Ciuk E., 1967. Litostratygrafia trzeciorzędu w rejonie Leszna. *Kwartalnik Geologiczny*, 11, 4, 920–922.
- Ciuk E., 1968a. Utwory trzeciorzędowe i czwartorzędowe w okolicy Orłowa na północ od Nidzicy (woj. olsztyńskie). *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 208, 67–93.
- Ciuk E., 1968b. Types of brown coal deposits within coal-bearing formation of continental Tertiary in Poland. *Geology of coal*. Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, s. 68–83.
- Ciuk E., 1970. Schematy litostratygraficzne trzeciorzędu Niżu Polskiego. *Kwartalnik Geologiczny*, 14, 4, 754–771.
- Ciuk E. 1978. Geologiczne podstawy dla nowego zagłębia węgla brunatnego w strefie rowu Poznań–Czempiń–Gostyń. *Przegląd Geologiczny*, 26, 10, 588–594.

- Ciuk E., 1980. Mapa geologiczna Polski 1:200 000, arkusz Konin. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Ciuk E., 1991. Zarys historii poszukiwań, badań i górnictwa węgla brunatnego w Polsce oraz udział w niej Państwowego Instytutu Geologicznego. *Kwartalnik Geologiczny*, 35, 2, 207–220.
- Ciuk E., 1994. Z dziejów rozwoju poszukiwań, badań i górnictwa węgla brunatnego na ziemiach polskich. *Węgiel Brunatny*, 9, 3, 33–37.
- Ciuk E., Doktor M., Kołcon I., Matl K., Rybicki S., Słomka T., Wagner M., 1992. Litologia utworów trzeciorzędu w polskiej części Niecki Żytawskiej i ich własności fizyko-mechaniczne. *Prace Komisji Geologicznej Polskiej Akademii Nauk*, 137. Wydawnictwo Ossolineum.
- Ciuk E., Grabowska I., 1991. Syntetyczny profil stratygraficzny trzeciorzędu złoża węgla brunatnego Lubstów w Lubstowie, woj. konińskie. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 365, 47–72.
- Ciuk E., Piwocki M., 1982. Geologia trzeciorzędu w rowie Kleszczowa i jego otoczeniu. *Przewodnik LII Zjazdu PTG, Bełchatów*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 56–70.
- Ciuk E., Piwocki M., 1990. Map of brown coal deposits and prospect areas in Poland, scale 1:500 000. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Cohen K.M., Finney S.C., Gibbard P.L., Fan J.-X., 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36, 199–204.
- Craig H., 1953. The Geochemistry of the Stable Carbon Isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 3, 2, 53–92.
- Czarnecki L., Frankowski R., Kuszneruk J., 1992. Syntetyczny profil litostratygraficzny utworów trzeciorzędu złoża Bełchatów. W: I. Lipiński (red.), *Geologia formacji węglonośnych Polski*. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
- Dadlez R., Marek S., Pokorski J. (red.), 2000. Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Deczkowski Z., Gajewska I., 1980. Mezozoiczne i trzeciorzędowe rowy obszaru monokliny przedsudeckiej. *Przegląd Geologiczny*, 28, 3, 151–156.
- Detman A., Bucha M., Simoneit B.R.T., Mielecki D., Piwowarczyk C., Chojnacka A., Błaszczak M.K., Jędrysek M.O., Marynowski L., Sikora A., 2018. Lignite biodegradation under conditions of acidic molasses fermentation. *International Journal of Coal Geology*, 196, 274–287.
- Dębiec K., Kędziński M., 2021. Węgiel brunatny w Czechach i w Niemczech – kontrowersje i perspektywy. *Komentarze Ośrodka Studiów Wschodnich*, 366, 1–10.
- Dobosz T., Widera M., 2008. Żwiry z odkrywki Koźmin Południe KWB Adamów S.A. w świetle badań litostratygraficznych i petrograficznych. *Górnictwo Odkrywkowe*, 49, 2–3, 136–140.
- Dubiński J., Turek M., 2016. Mining problems of underground coal gasification – reflections based on experience gained in experiment conducted in KHW S.A. *Wieczorek Coal Mine. Mining Science*, 23, 7–20.
- Dvořák Z., Mach K., 1999. Deltaic deposits in the North-Bohemian Brown Coal Basin and their documentation. *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, 43, 4, 633–641.
- Dybova-Jachowicz S., Sadowska A. (red.), 2003. *Palinologia*. Wydawnictwo Instytutu Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków.
- Dyjur S., 1970. Seria poznańska w Polsce zachodniej. *Kwartalnik Geologiczny*, 14, 4, 819–835.
- Dyjur S., 1978. Utwory kenozoiczne Ziemi Lubuskiej. W: S. Kozłowski (red.), *Surowce mineralne Ziemi Lubuskiej*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa, s. 37–43.

- ECE-UN, 1998. International classification of in-seam coals. ECE-UN Geneva, UN New York.
- Euracoal, 2019. Annual Report 2019. European Association for Coal and Lignite. Media Process s.a., Brussels, Belgium (www.euracoal.eu).
- Euracoal, 2020. EURACOAL Market Report 2020 no. 1. European Association for Coal and Lignite AISBL. Brussels, Belgium (<https://euracoal.eu/library/coal-market-reports/>).
- Fabiańska M., 2007. Geochemia organiczna węgla brunatnych wybranych złóż Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Florjan S., Worobiec G., 2016. Skamieniałości roślinne. Zarys tafonomii roślin. Wydawnictwo Instytutu Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Gabzdyl W., 1987. Petrografia węgla. Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej, 1337, 1–311.
- Gabzdyl W., 1994. Geologia złóż węgla. Złóża świata. Wydawnictwo Polskiej Agencji Ekologicznej, Warszawa.
- Gajda B., Derkacz J., Kłodnicki A., Białas Z., 1964. Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Bełchatów” w kat. C1+B. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu, Wrocław.
- Gontaszewska A., 2015. Podziemna eksploatacja węgla brunatnego na Ziemi Lubuskiej – dawne górnictwo, współczesny problem. *Przegląd Górniczy*, 71, 10, 1–8.
- Gontaszewska A., 2016. Kopalnia Węgla Brunatnego Oskar w Smogórach (Ziemia Lubuska). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 466, 65–76.
- Gontaszewska-Piekarz A., 2017. Historyczne górnictwo węgla brunatnego w okolicach Gubina. *Hereditas Minariorum*, 4, 109–121.
- Gotowała R., Hałuszczak A., 2002. The Late Alpine structural development of the Kleszczów Graben (Central Poland) as a result of a reactivation of the pre-existing, regional dislocation. *European Geoscience Union, Stephan Mueller Special Publication Series*, 1, 137–150.
- Górnjak K., Bahranowski K., Ratajczak T., Szydłak T., 1996. Regeneracja ziarn kwarcu w piaszczystych glebach korzeniowych w złożu węgla brunatnego Lubstów k. Konina. *Przegląd Geologiczny*, 44, 6, 626–630.
- Gruszczyk H., 1984. Nauka o złożach. Wydanie drugie. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Hager H., Kothen H., Spann R., 1981. Zur Setzung der Rheinischen Braunkohle und ihrer klastischen Begleitschichten. *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, 29, 319–352.
- Hajdo S., Klich J., Polak K., 2010. Uwarunkowania podziemnego zgazowania węgla – 100 lat rozwoju metody. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34, 4, 225–236.
- ICCP, 1975. International Handbook of Coal Petrography. 2nd Supplement to the 2nd Ed. International Committee for Coal and Organic Petrology.
- ICCP, 1993. International Handbook of Coal Petrography. 3rd Supplement to 2nd Ed. International Committee for Coal and Organic Petrology.
- Iciek J., Ziemiński K., Zawadzka A., Kowalska M., 2009. Alternatywne metody pozyskiwania energii z węgla brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 33, 151–157.
- IEA, 2019. Coal Information 2019: Overview (webstore.iea.org/coal-information-2019-overview).
- ISO 11760:2018. International Standard. Classification of coals. Geneva, Switzerland.
- Jansen D., 2017. Lignite Mining in the Rhineland – „Garzweiler”. Bund für Naturschutz Deutschland Landesverband Nordrhein-Westfalen e.V., Düsseldorf.

- Jaroń L., Kondratowicz A., Żygar J., 1978. Budowa geologiczna złóż węgla brunatnych Legnica i Ścinawa oraz perspektywy ich eksploatacji. *Przegląd Geologiczny*, 26, 10, 579–584.
- Jaros J., 1973. Historia górnictwa węglowego w Polsce Ludowej (1945–1970). Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa–Kraków.
- Jaros J., 1984. Słownik historyczny kopalń węgla na ziemiach polskich. Wydawnictwo Śląskiego Instytutu Naukowego, wydanie drugie, Katowice.
- Kaczmarek T., Wiśniewski J., Bąk A., Wojna B., 2007. Dokumentowanie nieciągłości tektonicznych złóż z wykorzystaniem technologii GIS. WARSZTATY 2007 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie. BOT KWB „Turów” S.A., s. 235–245.
- Kapusta K., Stańczyk K., Korczak K., Pankiewicz M., Wiatowski M., 2010. Wybrane aspekty oddziaływania procesu podziemnego zgazowania węgla na środowisko wodne. *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko*, 4, 17–26.
- Kamiński M., 2011. Węgiel z odkrywki „Tomisławice”. *Węgiel Brunatny*, 7, 4, 37–40.
- Kasiński J.R., 1984. Tektonika synsedymacyjna jako czynnik warunkujący sedimentację formacji brunatnowęglowej w zapadliskach tektonicznych na obszarze zachodniej Polski. *Przegląd Geologiczny*, 32, 5, 260–268.
- Kasiński J.R., 2000. Atlas geologiczny trzeciorzędowej asocjacji brunatnowęglowej w polskiej części Niecki Żytawskiej. *PIG*, Warszawa.
- Kasiński J.R., 2004. Paleogen i neogen w zapadliskach i rowach tektonicznych. W: T.M. Peryt, M. Piwocki (red.), *Budowa geologiczna Polski*. *Stratygrafia*, 3a, 134–161.
- Kasiński J.R., 2009. Potencjał zasobowy węgla brunatnego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem kompleksów złóż gubińskich i legnickich. *Centralne Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego*, Warszawa, s. 1–38.
- Kasiński J.R., 2012. Złoże węgla brunatnego „Gubin” jako rezerwa zasobowa dla nowego zagłębia górniczo-energetycznego. *Węgiel Brunatny*, 80, 3, 6–14.
- Kasiński J.R., 2015. Zjawiska krasowe w podłożu złoża węgla brunatnego Złoczew na tle struktur strefy dyslokacyjnej Poznań–Kalisz. W: M. Pańczyk (red.), *IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Złoża kopalin: poszukiwanie, badanie, dokumentowanie”*. Państwowy Instytut Geologiczny, 15–17.04.2015, Warszawa, s. 31–32.
- Kasiński J.R., Czapowski G., Piwocki M., 2009. Rola halokinezy w powstawaniu trzeciorzędowych złóż węgla brunatnego na Niziu Polskim. *Przegląd Geologiczny*, 57, 11, 964–975.
- Kasiński J.R., Matl K., Stachowiak A., 2012. Przydatność węgla brunatnego w Polsce dla procesu zgazowania podziemnego (UGC) – problem kryteriów bilansowości. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 448, 169–182.
- Kasiński J.R., Mazurek S., Piwocki M., 2006. Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*.
- Kasiński J.R., Piwocki M., 2002. Low-rank coals in Poland: prospection, mining, progress. W: J. Jureczka, M. Podemski (red.), *Proceedings of the IV European Coal Conference*. Polish Geological Institute Special Papers, 7, 18–30.
- Kasiński J.R., Piwocki M., Porzycki J., Zdanowski A., 1991. Węgiel kamienny i brunatny. W: S. Kozłowski (red.), *Atlas zasobów surowców i odpadów mineralnych oraz zagrożeń środowiska w układzie gminnym 1:750 000*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 2, 1–22.
- Kasiński J.R., Piwocki M., Swadowska E., Ziemińska-Tworzydło M., 2010. Charakterystyka węgla brunatnego z miocenu Niziu Polskiego na podstawie wybranych profili. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 439, 1, 99–154.

- Kasiński J.R., Saternus A., Urbański P., 2008. Łużycko-lubuski masyw złóż węgla brunatnego i jego znaczenie gospodarcze. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 429, 59–68.
- Kasiński J.R., Słodkowska B., 2016. Factors controlling Cenozoic anthracogenesis in the Polish Lowlands. *Geological Quarterly*, 60, 4, 959–974.
- Kasztelewicz Z., 2004. Polskie górnictwo węgla brunatnego. Związek Pracodawców „Porozumienie Producentów Węgla Brunatnego” w Bełchatowie, Bełchatów–Wrocław.
- Kasztelewicz Z., 2008a. Uwarunkowania wydobycia węgla brunatnego i produkcji energii elektrycznej w Polsce i Europie. *Archiwum AGH, Kraków*.
- Kasztelewicz Z., 2008b. Działalność Komitetu Sterującego dla przygotowania zagospodarowania Legnickiego Zagłębia Górniczo-Energetycznego. *Węgiel Brunatny*, 62, 1, 22–23.
- Kasztelewicz Z., 2011. Czy lubuskie złoża mogą zastąpić bełchatowskie zagłębie górniczo-energetyczne węgla brunatnego? *Polityka Energetyczna*, 14, 2, 167–179.
- Kasztelewicz Z., Kaczorowski J., Mazurek S., Orlikowski D., Żuk S., 2009. Stan obecny i strategia rozwoju branży węgla brunatnego w I połowie XXI wieku w Polsce. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 33, 2, 213–231.
- Kasztelewicz Z., Sikora M., Zajączkowski M., 2012. Złoże Poniec–Krobia w bilansie konińskiego zagłębia górniczo-energetycznego węgla brunatnego. *Polityka Energetyczna*, 15, 3, 135–146.
- Kasztelewicz Z., Tajduś A., Cała M., Ptak M., Sikora M., 2018. Strategic conditions for the future of brown coal mining in Poland. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 21, 4, 155–178.
- Kasztelewicz Z., Zajączkowski M., 2011. Analiza możliwości zagospodarowania złoża węgla brunatnego „Rogóźno” w kontekście zgazowania węgla. *Polityka Energetyczna*, 14, 2, 203–214.
- Kasztelewicz Z., Zajączkowski M., Sikora M., 2013. Perspektywy wykorzystania technologii zgazowania i eksploatacji odkrywkowej w zagospodarowaniu polskich złóż węgla brunatnego. *Przegląd Górniczy*, 69, 2, 139–147.
- Klett M., Eichhorst F., Schäfer A., 2002. Facies interpretation from well logs applied to the Tertiary Lower Rhine Basin fill. W: A. Schäfer, A. Siehl (red.), *Rift tectonics and syngenetic sedimentation – the Cenozoic Lower Rhine Graben and related structures*. *Netherlands Journal of Geosciences*, 81, 2, 167–176.
- Kolcon I., Sachsenhofer R.F. 1999. Petrography, palynology and depositional environments of the Early Miocene Oberdorf lignite seam (Styrian Basin, Austria). *International Journal of Coal Geology*, 41, 275–308.
- Kot W., Widera M., 2018. Glaciotectonically deformed lignite deposits in the area between Łagówek and Sieniawa, western Poland. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 28, 1, 159–171.
- Kowalczykiewicz Z., 1995. *Zaczęło się w Brzeźnie*. Wydawnictwo Kopalni Węgla Brunatnego Konin.
- Kozula R., 1998. Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej w kategorii B złoża węgla brunatnego Pątnów IV. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA” S.A., Wrocław.
- Kozula R., 1999. Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Tomisławice” w kategorii C1 i C2. Część I – tekst. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA” S.A., Wrocław.
- Kozula R., 2002. Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Sieniawa 1, wykonana w oparciu o umowę nr 02-020 z dnia 14.05.2002 r. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA” S.A., Wrocław.

- Kruszewska K., Dybova-Jachowicz S., 1997. Zarys petrografii węgla. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Krzeszowska E., Kokowska-Pawłowska M., 2016. Nowoczesne metody chemokorelacji i możliwości ich wykorzystania w dokumentowaniu złóż. *Górnictwo Odkrywkowe*, 57, 5, 58–63.
- Krzywiec P., 2006. Structural inversion of the Pomeranian and Kuiavian segments of the Mid-Polish Trough – lateral variations in timing and structural style. *Geological Quarterly*, 50, 1, 151–168.
- Kuliński M., Skóra M., 2014. Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego Oczkowice w kat. C1 i C2. Część I – tekst. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA S.A., Wrocław.
- Kwiecińska B., Wagner M., 1997. Typizacja cech jakościowych węgla brunatnego z krajowych złóż według kryteriów petrograficznych i chemiczno-technologicznych dla celów dokumentacji geologicznej złóż oraz obsługi kopalń. Wydawnictwo CPPGSMiE Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Kwiecińska B., Wagner M., 2001. Atlas petrograficzny węgla brunatnego. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- Libicki J., Szczepański J., 2007. Międzynarodowy System Klasyfikacji Węgla oraz Rozporządzenie Rady w sprawie Pomocy Publicznej dla Przemysłu Węglowego. *Węgiel Brunatny*, 59, 2, 55–57.
- Lindner L. (red.), 1992. Czwartorzęd. Osady, metody badań, stratygrafia. Wydawnictwo Polskiej Agencji Ekologicznej, Warszawa.
- Mach K., Sýkorová I., Konzalová M., Opluštil S., 2013. Effect of relative lake-level changes in mire-lake system on the petrographic and floristic compositions of a coal seam, in the Most Basin (Miocene), Czech Republic. *International Journal of Coal Geology*, 105, 120–136.
- Mach K., Teodoridis V., Matys Grygar T., Kvaček Z., Suhr P., Standke G., 2014. An evaluation of paleogeography and paleoecology in the Most Basin (Czech Republic) and Saxony (Germany) from the late Oligocene to the early Miocene. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 272, 1, 13–45.
- Maciaszek P., Chomiak L., Urbański P., Widera M., 2020. New insights into the genesis of the “Poznań Clays” – upper Neogene of Poland. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 30, 1, 18–32.
- Maciaszek P., Chomiak L., Wachocki R., Widera M., 2019. The interpretive significance of ripple-derived sedimentary structures within the late Neogene fluvial succession, central Poland. *Geologos*, 25, 1, 1–13.
- Malewski J., Błachowski J., Kaźmierczak U., Kucharska M., 2008. Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego. Środowiskowe i społeczne uwarunkowania eksploatacji złoża węgla brunatnego Legnica. Raport końcowy 18. Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław.
- Markič M., Sachsenhofer R.F., 1997. Petrographic composition and depositional environments of the Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia). *International Journal of Coal Geology*, 33, 229–254.
- Markič M., Sachsenhofer R.F., 2010. The Velenje Lignite: Its Petrology and Genesis. *Geološki Zavod Slovenije*, Ljubljana.
- Mastej W., Bartuś T., Rydlewski J., 2015. Analysis of lithofacies cyclicity in the Miocene Coal Complex of the Bełchatów lignite deposit, south-central Poland. *Geologos*, 21, 4, 285–302.

- Matl K., Kasztelewicz Z., Kasiński J., Bielowicz B., Galiniak G., 2014. Zróżnicowanie bazy zasobowej węgla brunatnego w Polsce dla produkcji gazu metodą naziemnego i podziemnego zgazowania. *Przegląd Górniczy*, 70, 11, 38–46.
- Matl K., Wagner M., 1986. The occurrence of tuffaceous horizons in the Tertiary of the Polish Lowland and Carpathian Foredeep. *Zeszyty Naukowe AGH, 1077, Geologia*, 12, 3, 63–78.
- Matys Grygar T., Mach K., Koubová M., Martinez M., Hron K., Fačevicová K., 2021. Beginning of the Miocene Climatic Optimum in Central Europe in sediment archive of the Most Basin, Czech Republic. *Bulletin of Geosciences*, 96, 1, 61–81.
- Mazurek S., Tymiński M., 2020. Węgla brunatne. W: M. Szufflicki, A. Malon, M. Tymiński (red.), *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2019 r.* Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, s. 35–40 (<http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce>).
- Miall A.D., 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13, 1–62.
- Michon L., van Balen R.T., Merle O., Pagnier H., 2003. The Cenozoic evolution of the Roer Valley Rift System integrated at a European scale. *Tectonophysics*, 367, 101–126.
- Naworyta W., 2010. Uwarunkowania społeczne zagospodarowania złóż metodą odkrywkową. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 130, 37, 183–190.
- Naworyta W., Badera J., 2012. Diagnoza uwarunkowań społeczno-gospodarczych dla projektowanego zagospodarowania złoża Gubin. *Polityka Energetyczna*, 15, 3, 107–118.
- Nowak J., Barańska-Buslik A., 2011. Wstępne typowanie pokładów węgla brunatnego rejonu LGOM do zagospodarowania metodami innowacyjnymi poprzez ich podziemne zgazowanie. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 81, 177–195.
- Ożóg J., Riabcew M., Żuchowski A., 1995. *Polski węgiel brunatny. Porozumienie Producentów Węgla Brunatnego.* Wydawnictwo KWB Bełchatów, Bełchatów.
- PEP2040, 2021. *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.* Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r., Warszawa.
- Piasecki A., 1999. *Kopalnia Węgla Brunatnego Adamów 1959–1999.* Wydawnictwo KWB Adamów, Turek.
- Pietraszewski A., 2021. *Polskie górnictwo węgla brunatnego w 2020 roku. Węgiel Brunatny*, 114, 1, 4–11.
- Piwocki M., 1975. Trzeciorzęd okolic Rawicza i jego węgloność. Z badań złóż węgla brunatnych w Polsce. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 284, 73–132.
- Piwocki M., 1976. Dokumentacja geologiczna poszukiwań złóż węgla brunatnego w rejonie Oczkowic, woj. łeszczyńskie, kategoria D1. *Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.*
- Piwocki M., 1979. Dokumentacja geologiczna poszukiwań złóż węgla brunatnego w rejonie Poniec-Krobia, woj. łeszczyńskie, kategoria D2. *Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.*
- Piwocki M., 1991. Geologia trzeciorzędowych złóż węgla brunatnego w rowach tektonicznych Wielkopolski. *Przewodnik 62 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Poznań*, s. 19–23.
- Piwocki M., 1992. Zasięg i korelacja głównych grup trzeciorzędowych pokładów węgla brunatnego na platformowym obszarze Polski. *Przegląd Geologiczny*, 40, 5, 281–286.
- Piwocki M., 1998. Charakterystyka dolnomiocenkiej IV dąbrowskiej grupy pokładów węgla brunatnego w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 46, 1, 55–61.

- Piwocki M., 2004. Neogen. W: T.M. Peryt, M. Piwocki (red.), Budowa geologiczna Polski. Stratygrafia, 3a, 22–71.
- Piwocki M., Badura J., Przybylski B., 2004. Neogen. W: T.M. Peryt, M. Piwocki (red.), Budowa geologiczna Polski. Stratygrafia, 3a, 71–133.
- Piwocki M., Ziemińska-Tworzydło M., 1995. Litostratygrafia i poziomy sporowo-pyłkowe neogenu na Niziu Polskim. Przegląd Geologiczny, 43, 11, 916–927.
- Piwocki M., Ziemińska-Tworzydło M., 1997. Neogene of the Polish Lowlands – lithostratigraphy and pollen-spore zones. Geological Quarterly, 41, 1, 21–40.
- PN-ISO 11760:2007. Klasyfikacja węgla – polska wersja. Polski Komitet Normalizacyjny.
- Probiez K., 2012. Petrologia węgla w rozpoznawaniu węgla koksowych rejonu Jastrzębia. Górnictwo i Geologia, 7, 3, 87–117.
- Przybyłek J., 2015. Opracowanie wg koncepcji „Wpływ wydobycia węgla brunatnego do 2000 r. na środowisko naturalne” przygotowanej w Dolnośląskim Biurze Projektów Górniczych we Wrocławiu, Wrocław, 1979. Gazeta Wyborcza z dnia 12 XII 2015 r.
- Przybyłek J., Dąbrowski S., 2017. Planowana kopalnia odkrywkowa na złożu węgla brunatnego „Oczkowice” zagrożeniem dla gospodarki wodnej i środowiska południowo-zachodniej Wielkopolski. Przegląd Geologiczny, 65, 11, 1000–1008.
- Przybyłek J., Górski J., 2016. Złoże węgla brunatnego Oczkowice – głos za właściwym rozpoznaniem hydrogeologicznym. Przegląd Geologiczny, 64, 3, 183–191.
- PSE, 2019. Zestawienie danych ilościowych dotyczących funkcjonowania KSE w 2019 roku (<https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-roczne-z-funkcjonowania-kse-za-rok/raporty-za-rok-2019>).
- Pytlak A., Sparkes R., Goraj W., Szafranek-Nakonieczna A., Banach A., Akmetkaliyeva S., Słowakiewicz M., 2021. Methanotroph-derived bacteriohopanepolyol signatures in sediments covering Miocene brown coal deposits. International Journal of Coal Geology (w druku) (<https://doi.org/10.1016/j.coal.2021.103759>).
- Rajchl M., Uličný D., Grygar R., Mach K., 2009. Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: the Cenozoic Most Basin, Eger Graben (Central Europe). Basin Research, 21, 269–294.
- Ratajczak T., Hycnar E., 2017. Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego. Geologiczno-surowcowe aspekty zagospodarowania kopalni towarzyszących. T. I. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków.
- Roga B., 1958. Kopalne paliwa stałe. Wydawnictwa Naukowe, Warszawa.
- Rozporządzenie..., 2015. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów. Warszawa.
- Różycki Z., 1968. Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Legnica” w kat. C1+C2. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA” S.A., Wrocław.
- Różycki Z., 1978. Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Legnica” w kat. C1+B Pole Zachodnie. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA” S.A., Wrocław.
- Różycki Z., 1992. Sprawozdanie z prac geologicznych w kategorii C1 na złożu węgla brunatnego Gubin. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA” S.A., Wrocław.
- Sadowska A., Giza B., 1991. Flora i wiek węgla brunatnego z Pątnowa. Acta Palaeobotanica, 31, 1–2, 201–214.
- Sawicki J., 2010. Hydrogeologiczne i górnicze uwarunkowania eksploatacji złoża węgla brunatnego „Złoczew”. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 123, 127–148.

- Schäfer A., Utescher T., Klett M., Valdivia-Manchego M., 2005. The Cenozoic Lower Rhine Basin – rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 621–639.
- Schäfer A., Utescher T., 2014. Origin, sediment fill, and sequence stratigraphy of the Cenozoic Lower Rhine Basin (Germany) interpreted from well logs. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 165, 287–314.
- Seredyńska-Iwaniuk L., 1980. Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Gostyń w kat. C2. Kombinat Geologiczny „Zachód” we Wrocławiu, Zakład Projektów i Dokumentacji Geologicznych, Wrocław.
- Siata E., 2003. Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego Turów w kat. A + B. Przedsiębiorstwo Robót Geologiczno-Wiertniczych Sp. z o.o., Sosnowiec.
- Skoczylas J., 1994. Użytkowanie surowców skalnych w początkach państwa polskiego w Wielkopolsce. VI Konferencja Sozologiczna i Seminarium Petroarcheologiczne. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Instytut Geologii UAM, Poznań, s. 63–74.
- Skoczylas J., 2016. Znaczenie eksploatacji i dystrybucji piaskowca kwarcytowego z Brzeźna we wczesnym średniowieczu. W: J. Dobosz, J. Skoczylas, T. Płóciennik, M. Gruszczyński, J. Łojko, P. Łojko-Wojtyński (red.), *Koniński słup drogowy*. Wydawnictwo Setidava, Konin, s. 39–54.
- Ślodka B., Widera M., 2021. Vegetation response to environmental changes based on palynological research on the Middle Miocene lignite at the Józwin IIB open-cast mine (Konin region, central Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 91, 2, 149–166.
- Słomka T., Doktor M., Wagner M., Matl K., 2000. Sedymentologiczne studium mioceńskich stożków napływowych w złożu węgla brunatnego Bełchatów. W: T. Słomka, M. Wagner (red.), *Charakter petrograficzny i warunki sedymentacji wybranych kompleksów litologicznych z profilu miocenu w złożu węgla brunatnego Bełchatów*. Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN, 147, 21–45.
- Sobczyk E.J., Wota A., Kopacz M., Fraczek J., 2017. Clean Coal Technologies – a chance for Poland’s energy security. Decision-making using AHP with benefits, opportunities, costs and risk analysis. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 33, 27–48.
- Standke G., Rascher J., Strauss C., 1993. Relative sea-level fluctuations and brown coal formations around the early-middle Miocene boundary in the Lusatian Brown Coal District. *Geologische Rundschau*, 82, 295–305.
- Stańczyk K., Howaniec N., Smoliński A., Świadrowski J., Kapusta K., Wiatowski M., Grabowski J., Rogut J., 2011. Gasification of lignite and hard coal with air and oxygen enriched air in a pilot scale ex situ reactor for underground gasification. *Fuel*, 90, 1953–1962.
- Statistik, 2021. Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (<https://kohlenstatistik.de/>).
- Studencki M., 2000. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Trzemeszno Lubuskie. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Szafrańek-Nakonieczna A., Zheng Y., Słowakiewicz M., Pytlak A., Polakowski C., Kubańczyński A., Bieganski A., Banach A., Wolińska A., Stępniewska Z., 2018. Methanogenic potential of lignites in Poland. *International Journal of Coal Geology*, 196, 201–210.
- Tajduś A., 2008. Węgiel brunatny to bezpieczeństwo energetyczne Polski. *Węgiel Brunatny*, 62, 1, 25–29.
- Tajduś A., Kaczorowski J., Kasztelewicz Z., Czaja P., Cała M., Bryja Z., Żuk S., 2014. Węgiel brunatny – oferta dla polskiej energetyki. Możliwość rozwoju działalności górnictwa węgla brunatnego w Polsce do 2050 roku. Komitet Górnictwa PAN, Kraków.

- Teichmüller M., 1958. Rekonstruktion verschiedener Moortypen des Hauptflözes der niederrheinischen Braunkohle. *Fortschrift in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, 2, 599–612.
- Teichmüller M., 1989. The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. *International Journal of Coal Geology*, 12, 1–87.
- Ticleanu N., Scradeanu D., Popa M., Milutinovici S., Popa R., Preda I., Ticleanu M., Savu C., Diaconita D., Barus T., Petrescu I., Dinulescu C., Maftai, R., 1999. The relation between the lithotypes of Pliocene coals from Oltenia and their main quality characteristics. *Bulletin of the Czech Geological Survey*, 74, 169–174.
- Thomas L., 2013. *Coal Geology*. Second ed. Wiley-Blackwell.
- Tobolski K., 2000. *Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Tomków K., 1981. Węgiel brunatny: użytkowanie i przetwórstwo. W: A. Bolewski i in. (red.), *Surowce mineralne świata. Węgiel brunatny*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 131–192.
- Ulenberg J., 2018. Przykłady różnych genetycznie złóż węgla brunatnego w Polsce a ich potencjalne możliwości zgazowania. Praca magisterska. Archiwum Instytutu Geologii UAM, Poznań.
- Urbański P., Saternus A., 2017. Charakterystyka złoża węgla brunatnego Złoczew w aspekcie alternatywnych metod jego wykorzystania. *Górnictwo Odkrywkowe*, 58, 3, 71–76.
- Urbański P., Widera M., 2016. Geologia złóż węgla brunatnego w południowo-zachodniej Wielkopolsce. *Przegląd Geologiczny*, 64, 10, 791–798.
- Urbański P., Widera M., 2020. Is the Złoczew lignite deposit geologically suitable for the first underground gasification installation in Poland? *Geologos*, 26, 2, 113–125.
- van Krevelen D.W., Schuyer J., 1959. Węgiel. Chemia węgla i jego struktura. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Vrablik P., Wildova E., Vrablikova J., 2017. The Effect of Brown Coal Mining on the Environment and Health of the Population in Northern Bohemia (Czech Republic). *International Journal of Clean Coal and Energy*, 6, 1–13.
- Wagner M., 1984. Ilaste skały kaolinitowe (paratonsteiny) złoża węgla brunatnego Bełchatów. *Kwartalnik Geologiczny*, 28, 3–4, 701–715.
- Wagner M., 1996. Brunatny węgiel bitumiczny ze złóż Turów i Bełchatów w świetle badań petrograficzno-chemicznych i sedimentologicznych. *Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN*, 143, 1–107.
- Wagner M., 2000. Petrografia i praktyczne znaczenie paratonsteinów ze złoża węgla brunatnego Bełchatów. W: T. Słomka, M. Wagner (red.), *Charakter petrograficzny i warunki sedimentacji wybranych kompleksów litologicznych z profilu miocenu w złożu węgla brunatnego Bełchatów*. *Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN*, 147, 100–124.
- Wagner M., 2013. The geological aspects of meta-lignite and sub-bituminous coal occurrences in Poland within the context of deposits and uneconomic occurrences in Europe. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 29, 4, 25–45.
- Wagner M., Drobniak A., 2000. Studium petrologiczne „iłów kostkowych” ze złoża węgla brunatnego „Bełchatów”. W: T. Słomka, M. Wagner (red.), *Charakter petrograficzny i warunki sedimentacji wybranych kompleksów litologicznych z profilu miocenu w złożu węgla brunatnego Bełchatów*. *Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN*, 147, 73–97.
- Wagner M., Matl K., 2007. Stratygrafia kredy jeziornej ze złoża węgla brunatnego „Szczerców”. *Geologia*, 33, 3, 289–315.

- Wagner M., Słomka T., Doktor M., 2000. Skład petrograficzny i warunki sedimentacji wapieni jeziornych ze złoża węgla brunatnego Bełchatów. W: T. Słomka, M. Wagner (red.), Charakter petrograficzny i warunki sedimentacji wybranych kompleksów litologicznych z profilu miocenu w złożu węgla brunatnego Bełchatów. Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN, 147, 47–73.
- Widera M., 1998. Ewolucja paleomorfologiczna i paleotektoniczna elewacji konińskiej. *Geologos*, 3, 55–103.
- Widera M., 1999. Ocena przydatności surowcowej skał mezozoicznych z odkrywek KWB Adamów. *Górnictwo Odkrywkowe*, 41, 1, 19–27.
- Widera M., 2000. Węgiel brunatny w Wielkopolsce – przeszłość, teraźniejszość, przyszłość. Streszczenia Referatów Poznańskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Poznań, 9, 47–60.
- Widera M., 2002. Próba wyznaczenia współczynnika konsolidacji torfów dla pokładów węgla brunatnego. *Przegląd Geologiczny*, 50, 1, 42–48.
- Widera M., 2004. Phases of Paleogene and Neogene tectonic evolution of selected grabens in the Wielkopolska area, central-western Poland. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 74, 3, 295–310.
- Widera M., 2007. Litostratygrafia i paleotektonika kenozoiku podplejstoczeńskiego Wielkopolski. Seria *Geologia*, 18. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Widera M., 2010. The morphology of fossil pebbles as a tool for determining their transport processes (Koźmin South lignite open-cast pit, central Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 80, 3, 315–325.
- Widera M., 2011. Postsedymenacyjne ruchy wznoszące w rowie Lubstowa. *Przegląd Geologiczny*, 59, 10, 681–687.
- Widera M., 2012. Macroscopic lithotype characterisation of the 1st Middle-Polish (1st Lusatian) Lignite Seam in the Miocene of central Poland. *Geologos*, 18, 1, 1–11.
- Widera M., 2013. Changes of the lignite seam architecture – a case study from Polish lignite deposits. *International Journal of Coal Geology*, 114, 60–73.
- Widera M., 2014. Lignite cleat studies from the first Middle-Polish (first Lusatian) lignite seam in central Poland. *International Journal of Coal Geology*, 131, 227–238.
- Widera M., 2015. Compaction of lignite: a review of methods and results. *Acta Geologica Polonica*, 65, 3, 367–368.
- Widera M., 2016a. An overview of lithotype associations forming the exploited lignite seams in Poland. *Geologos*, 22, 3, 213–225.
- Widera M., 2016b. Characteristics and origin of deformations within the lignite seams – a case study from Polish opencast mines. *Geological Quarterly*, 60, 1, 179–189.
- Widera M., 2016c. Genetic classification of Polish lignite deposits: A review. *International Journal of Coal Geology*, 158, 107–118.
- Widera M., 2017. Sedimentary breccia formed atop a Miocene crevasse-splay succession in central Poland. *Sedimentary Geology*, 360, 96–104.
- Widera M., 2020. Slump folds within mid-Miocene crevasse-splay deposits: a unique example from the Tomisławice lignite opencast mine in central Poland. *Geological Quarterly*, 64, 3, 711–722.
- Widera M., Bechtel A., Chomiak L., Maciaszek P., Słodkowska B., Wachocki R., Worobiec E., Worobiec G., Zieliński T., 2021. Palaeoenvironmental reconstruction of the Konin Basin (central Poland) during lignite accumulation linked to the Mid-Miocene Climate Optimum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 568, 110307.
- Widera M., Chomiak L., Gradecki D., Wachocki R., 2017. Osady glifu krewasowego z miocenu Polski środkowej w okolicach Konina. *Przegląd Geologiczny*, 65, 4, 251–258.

- Widera M., Chomiak L., Zieliński T., 2019a. Sedimentary facies, processes and paleochannel pattern of an anastomosing river system: an example from the Upper Neogene of Central Poland. *Journal of Sedimentary Research*, 89, 6, 487–507.
- Widera M., Ćwikliński W., Karman R., 2008. Cenozoic tectonic evolution of the Poznań–Oleśnica Fault Zone, central-western Poland. *Acta Geologica Polonica*, 58, 4, 455–471.
- Widera M., Hałaszczyk A., 2011. Stages of the Cenozoic tectonics in central Poland: examples from selected grabens. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 162, 2, 203–215.
- Widera M., Kasztelewicz Z., Ptak M., 2016. Lignite mining and electricity generation in Poland: The current state and future prospects. *Energy Policy*, 92, 151–157.
- Widera M., Kita A., 2007. Paleogene marginal marine sedimentation in central-western Poland. *Geological Quarterly*, 51, 1, 79–90.
- Widera M., Stawikowski W., Uścińowicz G., 2019b. Paleogene–Neogene tectonic evolution of the lignite-rich Szamotuły Graben. *Acta Geologica Polonica*, 69, 3, 387–401.
- Winnicki J., 2004. Wpływ środkowopolejskoceńskich struktur glacytektonicznych i rynien subglacialnych na rzeźbę w północnej części Pojezierza Lubuskiego (zachodnia Polska). *Przegląd Geologiczny*, 52, 3, 1144–1150.
- Wiśniewski W., 2000. Zagospodarowanie kopalni towarzyszących w KWB Bełchatów. Streszczenia Referatów Poznańskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Poznań, 9, 61–72.
- Wocka N., Kaczarewski T., 2014. Dostosowanie układów urabiania w koparkach kołowych do wymogów utworów trudnourabialnych występujących w nadkładzie kopalń odkrywkowych węgla brunatnego. *Węgiel Brunatny*, 88, 3, 14–21.
- Worobiec E., Widera M., Worobiec G., Kurdziel B., 2021. Middle Miocene palynoflora from the Adamów lignite deposit, central Poland. *Palynology*, 45, 59–71.
- Wójcik A.J., Preidl W., 2014. Węgiel blanowicki – zarys historii rozpoznania i eksploatacji do 1870 roku. *Hereditas Minariorum*, 1, 29–45.
- Zdanowicz W., 2010. 60 lat Kopalni Węgla Brunatnego SIENIAWA. Wydawnictwo Kopalni Węgla Brunatnego „Sieniawa” Sp. z o.o.
- Zieliński T., Widera M., 2020. Anastomosing-to-meandering transitional river in sedimentary record: A case study from the Neogene of central Poland. *Sedimentary Geology*, 404, 105677.
- Ziegler P.A., 1990. *Geological Atlas of Western and Central Europe*, Shell. The Hague.
- Ziegler P.A., 1992. European Cenozoic rift system. W: P.A. Ziegler (red.), *Geodynamics of Rifting*. *Tectonophysics*, 208, 91–111.
- Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczytko N., Ślącza A., Żaba J., Żytko K., 2011. Regionalizacja tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geologicznych Polska Akademia Nauk, Wrocław.
- Żygar J., 1979. Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Złoczew” w kat. C2. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.

Indeks nazw

antracyt 26, 46

bakterie

- aerobowe 47, 48
- anaerobowe 41, 47, 48
- beztlenowe 47, 48
- tlenowe 47, 48

basen

- dolnego Renu 138, 139
- dolnoreński 144
- Mostu 144–146
- sedymentacyjny 75, 152
- Velenje 150, 151, 153

bazaltoidy 145, 147, 148

bazalty 72, 125

białka 22, 23, 48,

blok energetyczny 78, 81, 82, 120, 154

brekcja

- sedymentacyjna 93, 94
- tektoniczna 97, 98

bruk krzemienisty 101, 105–107

butt cleats 97

butwienie 47, 48

celuloza 22, 23, 39, 41

ciepło spalania 27, 63

cukry 22

cypryśnik błotny 42–44, 46

„czarne” 13

części lotne 27, 49

detrytusu roślinny 32, 33, 36, 49, 87, 121

diamant 22

diamicton 30

„dy” 104

face cleats 97

finés 30

fałd

- asymetryczny 76
- dysharmoniczny 70, 76, 77
- glacitektoniczny 69, 70, 85
- leżący 70, 71
- pochylony 70, 71, 76, 148
- spływowy 93, 94
- stojący 69–71, 76
- symetryczny 69
- wielkopromienny 104

faza

- biochemiczna 47, 48
 - geochemiczna 48, 85
- fonolity 72, 145

garbniki 24, 25

genetyczny typ złoża

- epejrogeniczny 128, 129, 132–135
- glacitektoniczny 128, 129, 132–134, 135
- krasowy 128, 129, 131, 132, 134
- tektoniczny 128, 129, 130, 131, 132–134
- złożony 129, 135

gnicie 47, 48

gradient geotermiczny 50

grafit 22, 26, 46

granity

- izerskie 72
 - rumburskie 72
- grudzki skarb 15
- gytia 41, 104, 109

humifikacja 39, 40

huminy 39

humolit 48

iłły jeziorne 34, 74, 145, 149, 152, 157

iłły kostkowe 101, 104

iłły margliste 151

- ility międzywęglowe 104, 105
 „ility niebieskie” 87–89
 „ility płomieniste” 89, 91, 127
 „ility poznańskie” 87, 96, 97, 99
 „ility szare” 62, 96, 127
 ility węgliste 62, 145, 151
 ility z Boom 138
 „ility zielone” 62, 89, 91, 127
 izotop 21
- karcz 32
 kategoria rozpoznania złoża 56, 62, **64**, **65**
 kauczuk **24**, 25
 kaustobiolit 26, 46
 kod
 – litofacjalny 30
 – litotypowy 30, 36, 37
 kompakcja **49**, 85, 115, 126, 129, 130, 147
 konkrecje syderytowe 75, 76
 konsolidacja
 – filtracyjna 49
 – strukturalna 49
 kreda jeziorna 101, 104, 107, 109, 145
 krzemienie pasiaste 105, 106
 ksylic 32, 33–36, 49, 50, 106, 149
 kutykule 24, 48
 kutyna **24**
 kwasy
 – fenolowe 24
 – humusowe 39
 – kwasy huminowe 72
 – żywiczne 24
- las
 – bagienny 37, 38, **42**, 43
 – łągowy 38, 42, 43, **44**
 – mezofilny 38, 42, 43, **44**
 lignina 22, **23**, 39
 liptobiolit 48
 litotyp **30**, **31**, 32–37, 76
- łuska glacictektoniczna 68, 69
- macerał
 – huminit 10, 27, 29, 38, **39**, 40
 – liptynit 28, 38, 39, **40**
 – inertynit **40**
 – protobitumiczny 40
 mikrodelta krewasowa 94, 98, 104
 miks energetyczny 9, 161
- miocen 14, 50, 59, 72, 117, 118, 138, 157
 monomer 23
- nasunięcie 128, 132, 133, 135, 136
 neogen 9, 67, 68, 70, 73, 76, 77, 79, 83, 84,
 87, 91, 95, 96, 101, 108, 109, 112–115,
 117, 118, 121, 122, 125–127, 139, 145,
 147
 oczeret 41, 42
- paleogen 9, 67, 72, 73, 79, 83, 87–89, 91–
 93, 95, 100, 101, 108, 109, 111–115, 117,
 118, 120–122, 125, 138
 paleotemperatura 50, 51
 paratonsztajn (paratonstein) 101
 piaskowiec (kwarcytowy) kwarcytowy 9,
13, 83, 88–89, 101, 104, 106
 pierwiastek węgiel **21**, 48
 plankton
 – roślinny 41, 42
 – zwierzęcy 41
 pneumatofory 43, 44
 pochylnia 14, 17
 pokład (grupa pokładów)
 – 5. czempiański **57–60**, 79, 83, 87, 101,
 111–114, 131
 – 4. dąbrowski **57–60**, 79, 80, 117, 122
 – Henryk **59**, 80
 – koniński 79
 – 2a. lubiński 57, **61**, **62**, 80, 122, 125, 126
 – lubstowski 84, 86
 – 1. łżycki 57
 – 2. łżycki 49, 50, **57–59**, 61, 71–74, 76–
 78, 80, 83–86, 101, 103, 109–112, 114–
 116, 119, 126–127, 131
 – 3. łżycki 57
 – 4. łżycki 57
 – 5. łżycki 57
 – 1a. oczkowicki 57, **61**, **62**, 115, 123, 124,
 137
 – 7. odrzański 57
 – 0. orłowski **61**, **62**
 – 3. ścinawski 50, **57–61**, 68, 72–78, 80,
 101, 102, 109, 110, 112, 114, 121
 – 1. środkowopolski 45, 46, 49, 50, **57–59**,
61, 62, 68, 80, 81, 84, 87, 90–92, 96, 97,
 109, 101, 112, 115, 117–119, 122–124,
 126, 127
 – 6. tanowski 57
 polimer 22, 24

- popiół **25, 26**, 47, 107
poziom tufitowy 100, 145
„powierzchnia mycia” 105
prawo Hilita 49
prawo Schürmanna 49
próchnica 47, 48
próchnienie 47
pyłki 40, **44, 45**, 111
- redoks 22
refleksyjność
– ulminitu B 28
– wityryny 27
„reguła 10%” **32–33**, 36
roślinność
– drzewiasta 32, 33, 43
– drzewiasto-krzewiasta 33
– krzewiasta 32, 33, 43
– lasu bagiennego 38, **42, 43**
– lasu łęgowego 38, 42, 43, **44**
– lasu mezofilnego 42, **44**
– niedrzewna 33, 35, 37
– nietorfotwórcza 44
– pływająca 33, 41
– przybrzeżna 34
– szuwarowa 33, 34, 37, **41, 42**, 43, 48
– torfotwórcza 10, 22, 24, **41–45**, 46, 105, 128
– wodna 34, 37, **41, 42**
- rów
– Adamowa **87–89**
– Chobieni-Rawicza **122, 123**, 137
– dolnego Renu **139**, 157
– Egeru 72, **144, 145**, 157, 158
– Gostynia **117, 118**
– Kleczewa **96**
– Kleszczowa **100–102, 104, 105**, 157
– Lubstowa **83, 84**
– Ohrzy **72, 144, 145**, 157
– Szamotuł **115, 116**
– Velenje **152, 153**, 157
– Złoczewa **108–110**
- samozapłon 35
sapropel 41, **47, 48**
sapropelit 48
siecza węglowa 33
siodło **68–72**, 135
skrobia 22, 23
słup milowy 13, 15
- sporomorfy 48
spory 40
stadium
– diagenety 46
– katagenety późnej 46
– katagenety wczesnej 46
– metagenety późnej 46
– metagenety wczesnej 46
– metamorfizmu 46
– syngenezy 46
– ultrametamorfizmu 46
stopień geotermiczny 50, 104
stopień uwęglenia **26, 28**, 158
stożek
– aluwialny 76, 157
– (glif) krewasowy **93, 94**, 104
– napływowy 104
szereg węglowy **26, 46**
szuwar, roślinność szuwarowa 33, 34, 37, **41–43**, 48
szyb 14, 15, 153, 154
- tektonika
– postsedymentacyjna 73, 126, 129, 139
– synsedymentacyjna 73, 85, 126, 129, 130
temperatura kontaktowa 50, 51, 158
„tłusta, czarna ziemia” 13
tłuszcze **22, 23**, 48, 49
torf 25, 26, 35, 38, 40, 41, 46–49, 51, 85, 92, 107, 126, 130, 131, 137, 158
torfienie **47, 48**
torfowisko
– krzewiaste **37, 38**, 43
– niskie 25, 37
– Philippi 51
– przejściowe 25
– wysokie 25
trachity 72
tufit 100, 101, 145
- ulminitu B 28, 38–40
uskok
– normalny 71, 77, 102, 104, 105, 147
– odwrócony 68, 71, 102, 104, 105
uwęglenie 22, 26, 38, 41, **46–51**
- wartość opałowa 28, 36, **63**, 71, 78, 81, 84, 86, 90, 92, 97, 107, 108, 110, 114, 116, 119, 123, 124, 127, 143, 147, 150, 156–158

- węgiel
- bitumiczny 31, **33**, **34**, 41, 48, 52, 75, 76
 - blanowicki 14, 15
 - brunatny
 - miękki 14, **27-29**, 46, 47, 49-52, 63
 - twardy 14, 15, **27**, **28**, 46
 - odmiany błyszczącej **27**, **28**
 - odmiany matowej **27**, **28**
 - brykietowy 28
 - detrytowy 30, **31**, **32**, 33, 34, 36, 37, 41
 - detroksylitowy **31-33**, 36
 - do upłynnienia (uwodornienia) 28, 29
 - do zgazowania 28, 29, 36
 - ekstrakcyjny 28, 29
 - energetyczny 28, 29
 - fuzynowy 30, **31**, 34, **35**
 - humusowy 48
 - kamienny 14, 20, 26, 41, 46, 50, 51, 153, 161
 - ksylicowy **31**, **32**, 35, 36, 38
 - ksylodetrytowy **31-33**, 36, 37
 - liptobiolitowy 48
 - pierwiastkowy **21**, **22**, 23, 26, 27, 39, 49
 - pioropissytowy 48
 - podmoskiewski 51
 - sapropelowy **48**
 - wietrzeniowy 31, 34, **35**, 36
 - wylewny 28, 29
 - żżelifikowany 50, 104, 106, 149
- witrynit 27, 28, 40
- woski **23**, **24**, 40, 48
- współczynnik kompaktacji **49**
- współczynnik liniowy N:W 63, 65, 66, 123, 157
- Zagłębie
- Bełchatowskie 156-158
 - Dolnoleńskie **138**, 142-144, 156-158
 - Podmoskiewskie 51
 - Północnoczeskie **144**, 148, 156-158
 - Velenje **150**, 156-158
- zasoby
- bilansowe 18, 56, 59, **64**, 66, 95, 113, 120, 127
 - geologiczne 18, 52, 54-56, **64**, 65, 81, 116
 - operatywne **64**, 81, 82, 95
 - perspektywiczne 116, 118, 161
 - pozabilansowe **64**, 111
 - prognostyczne **64**, 56
- zawartość wody 51
- ziemia próchnicza 47, 48
- złoże
- limniczne 156
 - paraliczne 156, 158
 - satelickie 110
- żelifikacja 34, 39, 40, 104, 147
- żywice **24**, 40, 48
- żwirowce ilaste 76
- „żwir z Koźmina” 87-90

Bogucki
WYDAWNICTWO
NAUKOWE

Studia i Prace z Geologii nr 3

