

Studium litologiczno-surowcowe skał trudnourabialnych ze złoża węgla brunatnego Bełchatów

ELŻBIETA HYCNAR, TADEUSZ RATAJCZAK, RYSZARD UBERMAN



Wydawnictwo IGSMiE PAN
KRAKÓW • 2022

INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIA
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ELŻBIETA HYCNAR, TADEUSZ RATAJCZAK, RYSZARD UBERMAN

**Studium litologiczno-surowcowe
skał trudnourabialnych
ze złoża węgla brunatnego Bełchatów**

KRAKÓW • 2022
Wydawnictwo IGSMiE PAN

RECENZENCI

prof. dr hab. Wiesław Heflik
dr hab. Marek Widera, prof. UAM

Wydanie publikacji finansowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie
(16.16.140.315) i Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie



© 2023. Autorzy. Jest to publikacja udostępniana w otwartym dostępie zgodnie z warunkami licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 3.0 (CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pl>), która zezwala na używanie, dystrybucję i reprodukcję na dowolnym nośniku, pod warunkiem, że tekst jest prawidłowo cytowany.

ADRES REDAKCJI

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk
ul. J. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
tel.: +48 12 632 33 00; fax: +48 12 632 35 24

Redaktor Wydawnictwa: Emilia Rydzewska-Smaza
Redaktor techniczny: Barbara Sudoł, Beata Stankiewicz
Projekt okładki: Elżbieta Hycnar

© Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
Kraków 2022
Printed in Poland

ISBN 978-83-67606-05-9
eISBN 978-83-67606-06-6

IGSMiE PAN – Wydawnictwo

Nakład 60 egz.
Objętość ark. wyd. 7,85; ark. druk. 11,0 (×8)
Druk i oprawa: Drukarnia Eikon Plus
ul. Wybickiego 46; 31-302 Kraków

Spis treści

1. Część wstępna	5
Od Autorów	5
1.1. Kompleksowość i racjonalność wykorzystania kopalin w dokumentowaniu i eksploatacji złóż	6
1.2. Wielokopalinowy charakter złóż węgla brunatnego	10
1.3. Złoże węgla brunatnego Bełchatów a problem kopalin towarzyszących	13
1.4. Metodyka badań kopalin towarzyszących	16
1.5. Skały trudnourabialne w złożu Bełchatów	19
2. Skały trudnourabialne a krajowe i światowe złoża węgla brunatnego	25
3. Litologia i geologiczne warunki zalegania skał trudnourabialnych w złożu Bełchatów	29
3.1. Wprowadzenie	29
3.2. Głazy narzutowe	30
3.2.1. Charakter litologiczny	30
3.2.2. Geologiczne warunki zalegania	34
3.2.3. Kierunki i możliwości surowcowego wykorzystania	34
3.3. Pospółka piaszczysto-żwirowa, tzw. bruki krzemienne	35
3.3.1. Wstęp	35
3.3.2. Charakter litologiczny i wiek	36
3.3.3. Geologiczne warunki zalegania	38
3.3.4. Możliwości i kierunki wykorzystania surowcowego	40
3.4. Piaskowce i zlepienie krzemionkowe	41
3.4.1. Wstęp	41
3.4.2. Charakter litologiczny	42
3.4.3. Skład chemiczny	44
3.4.4. Nazewnictwo i terminologia	44
3.4.5. Geneza	46
3.4.6. Lokalizacja w profilu litostratygraficznym	47
3.4.7. Niektóre właściwości fizyko-mechaniczne	51
3.5. Wapienie mezozoiczne	52
3.5.1. Wstęp	52
3.5.2. Litologia i warunki zalegania	54
3.5.3. Charakter mineralogiczno-petrograficzny	55
3.5.4. Skład chemiczny	58
3.5.5. Parametry fizykochemiczne i fizyko-mechaniczne	59
3.5.6. Możliwości wykorzystania	61

3.6. Inne odmiany skał trudnourabialnych	65
3.6.1. Czwartorzędowe piaskowce żelaziste	65
3.6.2. Skały przejściowe i okruchowe	66
4. Wytrzymałość mechaniczna skał a ich urabialność	69
5. Kruszywa mineralne i zasadniczy kierunek wykorzystania skał trudnourabialnych	77
Zakończenie	79
Literatura	81
Prace archiwalne	84
Źródła prawa	85

1. Część wstępna

Od Autorów

W 2017 roku w wydawnictwie Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN ukazała się dwutomowa monografia nosząca tytuł „Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego” autorstwa T. Ratajczaka, E. Hycnar i R. Ubermana. Treść tej monografii pokazuje wielokopalinowy charakter złóż węgla brunatnego i znaczne zróżnicowanie stopnia rozpoznania geologiczno-złożowo-surowcowego kopalin towarzyszących obecnych w tych złożach. Potencjalnie mogą stanowić bazę zasobową różnych odmian surowców. Jednak stopień ich rozpoznania nie zawsze jest satysfakcjonujący. W zasadzie nigdy nie był na tyle odpowiedni, aby móc stanowić podstawę do ich udokumentowania geologicznego. Poza tym badania te były zazwyczaj ukierunkowane na jedną odmianę tych kopalin, pomijając inne obecne w złożu. Nie miały więc charakteru wielosurowcowego. Poruszana problematyka została ukazana w szerszej panoramie. Było to możliwe poprzez odkreślenie potrzeby ustalenia kompleksowości i racjonalności wykorzystania wszystkich odmian kopalin ze złoża Bełchatów. Powinno to mieć miejsce zarówno w trakcie dokumentowania, jak i eksploatacji. Realizacja wymienionych celów wymaga konieczności sporządzania dokumentacji wielosurowcowych w przypadku złóż wielokopalinowych, do których zalicza się złoża węgla brunatnego.

Podziękowania

Praca nabrała ostatecznego kształtu dzięki uwagom przekazanych przez PT Recenzentów. Dziękujemy prof. dr hab. Wiesławowi Heflikowi i dr hab. Markowi Widerze prof. UAM za trud włożony z zapoznaniem się z treścią pracy. Cenne uwagi oraz sugestie dotyczące zarówno treści merytorycznej, jak i edytorskiej, pozwoliły na wyeliminowanie błędów i nadanie optymalnego kształtu.

1.1. Kompleksowość i racjonalność wykorzystania kopalin w dokumentowaniu i eksploatacji złóż

Złóża kopalin są podstawowym źródłem surowców mineralnych i ze względu na ich nieodnawialność oraz coraz trudniejsze warunki pozyskiwania wymagają oszczędnego gospodarowania. Aktualnie obowiązujące przepisy prawne, wymienione na końcu tej monografii, regulują wprawdzie zasady kompleksowości i racjonalności dokumentowania i wydobywania kopalin, ale są sformułowane w sposób ogólny. Dlatego nie precyzują, jak je konkretnie w praktyce rozumieć i stosować.

Wprawdzie we współczesnej gospodarce kopalinami przez kompleksowość rozumie się nie tylko zagospodarowanie kopaliny głównej i kopalin towarzyszących, jak stanowią przepisy Prawa geologicznego i górniczego (2011), ale także wykorzystanie innych skał i substancji występujących w złożu, a niebędących kopalinami. Natomiast odnośnie do racjonalności gospodarowania kopalinami wymóg ten w praktyce geologiczno-górniczej stosuje się w zasadzie do oceny przydatności surowcowej. W mniejszym stopniu potrzebę uwzględnienia racjonalności odnosi się do badania właściwości technologicznych skał, szczególnie występujących w nadkładzie złoża. Ma to jednak istotne znaczenie dla poprawności projektowania i prowadzenia eksploatacji złóż.

Niektóre problemy z zakresu wielosurowcowego dokumentowania złóż kopalin stały się przedmiotem rozważań i dyskusji. Wymienić tu należy prezentowane poglądy w pracach J. A. Stefanowicza (2018), K. Szamałka i in. (2019), M. Niecia i in. (2018). Natomiast potrzebę pilnego rozwiązania problemów złóż antropogenicznych jako jednego ze sposobów racjonalizujących gospodarkę surowcami mineralnymi, postulują T. Ratajczak i in. (2017) oraz P. Dziadzio (2022).

Złóża kopalin są częścią składową górotworu i środowiska, a więc podlegają ochronie, którą gwarantuje ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Artykuł 125 tej ustawy stanowi, że „złóża kopalin podlegają ochronie polegającej na racjonalnym gospodarowaniu ich zasobami oraz kompleksowym wykorzystaniu kopalin, w tym kopalin towarzyszących”. Wymóg kompleksowego i racjonalnego wykorzystania złóż kopalin jest uszczegółowiony w przepisach ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (PGiG) z późniejszymi zmianami w odniesieniu do poszukiwania, rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalin oraz do działalności wydobywania kopalin.

W artykułach 21 i 26 PGiG (2011), dotyczących treści wniosków koncesyjnych, akcentuje się potrzebę uwzględniania obok kopaliny głównej również kopalin towarzyszących i współwystępujących użytecznych pierwiastków śladowych. Z kolei w artykule 89 PGiG (2011) wymaga się, aby w dokumentacji geologicznej złoża kopaliny określać rodzaj, ilość i jakość kopaliny, w tym przedstawienie informacji dotyczących kopalin towarzyszących i współwystępujących, a także użytecznych pierwiastków śladowych oraz występujących w złożu substancji szkodliwych.

W kolejnych artykułach, odnoszących się do fazy wydobywania kopalin ze złoża, ustawa PGiG (2011) wymaga, aby w planie ruchu zakładu górniczego określać przedsięwzięcia niezbędne dla zapewnienia racjonalnej gospodarki złożem. PGiG (2011) przewiduje również możliwość kontrolowania przez organ nadzoru górniczego racjonalnej gospodarki złożem kopaliny. Dla realizacji zawartych we wspomnianej ustawie ustaleń dotyczących gospodarowania złożami kopalin wydane zostały następujące rozporządzenia:

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny z wyłączeniem węglowodorów. W rozporządzeniu tym wymaga się zamieszczać informacje dotyczące kopaliny głównej, kopalin towarzyszących, a także współwystępujących użytecznych pierwiastków śladowych, w tym charakterystykę własności technologicznych kopalin (pod pojęciem własności technologicznych kopalin rozumiemy ogół cech fizyko-chemicznych i użytkowych. Ponieważ w innych przepisach i dokumentacjach, a nawet słownikach językowych definiowany jest tylko termin „właściwości”, wobec tego zdecydowaliśmy się na jego stosowanie) oraz możliwych kierunków ich wykorzystania.
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż. Rozporządzenie wymaga, aby w projekcie zagospodarowania złoża (PZZ) określać optymalny wariant racjonalnego wykorzystania zasobów złoża, w szczególności przez kompleksowe i racjonalne wykorzystanie kopaliny głównej i kopalin towarzyszących. PZZ powinien też zawierać określenie stopnia wykorzystania zasobów kopalin towarzyszących i współwystępujących.
3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 lutego 2012 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych. Plan ruchu zakładu górniczego odnosi się do fazy wydobywania i według rozporządzenia powinien zawierać stopień wykorzystania zasobów, w tym zasobów złóż kopalin towarzyszących oraz określenie przedsięwzięć mających na celu kompleksowe i racjonalne wykorzystanie kopaliny głównej i kopalin towarzyszących.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 kwietnia 2013 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu odkrywkowego zakładu górniczego. Rozporządzenie ustala, że w zakresie obsługi geologicznej zakładu górniczego należy kontrolować racjonalne wykorzystanie kopalin oraz przeprowadzać okresowe analizy gospodarki złożem.

Należy dodatkowo zaznaczyć, że dla potrzeb analizy gospodarowania złożami kopalin w odkrywkowych zakładach górniczych Wyższy Urząd Górniczy opracował w 2012 r. odpowiednie standardy postępowania. W standardach tych ustalono ramy postępowania nadzoru i kontroli organów nadzoru górniczego w zakresie gospodarki złożami kopalin w nawiązaniu do obowiązujących przepisów PGiG. Określono je dla poszczególnych etapów gospodarki złożem:

- na etapie planowania eksploatacji;
- w procesie wydobywania kopaliny;
- w fazie likwidacji zakładu górniczego.

Szczegółowe wytyczne do realizacji celu jakim jest kompleksowość i racjonalność wykorzystania złóż kopalin zawarte są w „Zasadach dokumentowania złóż kopalin stałych”, wydanych przez Ministerstwo Środowiska w 2002 r. W „Zasadach...” zamieszczono definicje pojęć z zakresu gospodarki złożami kopalin. Zdefiniowano między innymi pojęcia: kopaliny głównej, kopalin towarzyszących, kopaliny jednosurowcowej i wielosurowcowej, a także złoża wielokopalinowego i wielosurowcowego.

Dla potrzeb kompleksowego i racjonalnego wykorzystania złóż kopalin konieczne jest określenie ich przydatności surowcowej, na co szczególny nacisk kładą przepisy Prawa geologicznego i górniczego. Przydatność surowcową kopalin określa się dla kopaliny głównej i kopalin towarzyszących. Ponieważ jednak w profilu litologiczno-stratygraficznym danego złoża występują także skały i substancje, które nie kwalifikują się do kategorii kopalin, ale wykazują inne wartości użytkowe, to ograniczenie charakterystyki tylko do przydatności surowcowej pozbawia możliwości ich racjonalnego wykorzystania. Uwaga ta odnosi się szczególnie do złóż eksploatowanych sposobem odkrywkowym. Przykładowo, w złożu węgla brunatnego Bełchatów, występują w nadkładzie skały nieprzydatne dla celów surowcowych, ale użyteczne dla innych celów, np. technologicznych. Dla bezpieczeństwa i stateczności zwałowiska niezbędne są informacje dotyczące właściwości fizyko-mechanicznych zwałowanych skał. Również w procesie zwałowania powinno się uwzględniać właściwości skał pod kątem oceny ich przydatności dla rekultywacji.

Jeszcze dobitniejszym przykładem są wody podziemne z odwodnienia kopalni, które w świetle przepisów prawa nie są kopalinami, ale są/były wykorzystywane dla celów technologicznych, a niekiedy (kopalnia Bełchatów, kopalnia Konin) do produkcji wód konsumpcyjnych i napojów owocowych. Spośród przepisów regulujących działalność geologiczno-górnictwą tylko w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny z wyłączeniem węglowodorów, w sposób bezpośredni wymaga się, aby w takiej dokumentacji określić wyłącznie charakterystykę właściwości technologicznych kopalin, a nie pozostałych skał nadkładu.

Bardziej szczegółowo problematyka oceny właściwości pozasurowcowych określona została w „Zasadach dokumentowania złóż kopalin stałych”. Zaleca się, aby w czasie rozpoznania i dokumentowania złoża przewidzianego do eksploatacji odkrywkowej, badać jakość wszystkich kopalin występujących pomiędzy powierzchnią terenu a stropem kopaliny głównej i bezpośrednio poniżej jej spągu oraz kopalin występujących w skałach bocznych złoża. Zaleca się też rozpoznanie ewentualnych kopalin ciekłych i gazowych, w tym wód pitnych i przemysłowych.

Oczywiste jest, że zakres i dokładność rozpoznania i dokumentowania złoża kopaliny determinuje wysokość kosztów tego przedsięwzięcia. Wstępne rozpoznanie w kategorii D koncentrować się będzie przede wszystkim na ocenie przydatności surowcowej, a więc stwierdzenia występowania kopalin. Dokładniejsze rozpoznanie surowcowe, jak i właściwości technologicznych skał nadkładowych dokonywane jest na kolejnym etapie dokumentowania,

tj. w kategorii C2. Natomiast w kategorii C1 niezbędne jest bardziej szczegółowe rozpoznanie warunków geologiczno-górnich złoży, bowiem dokumentacja wykonana w tej kategorii upoważnia do uzyskania koncesji na eksploatację złoża. Dokumentem warunkującym uzyskanie koncesji na wydobywanie kopaliny jest sporządzenie projektu zagospodarowania złoża (PZZ). Powinien on zawierać określenie sposobu eksploatacji złoża, co wymaga odpowiedniej znajomości właściwości skał występujących w złożu.

Trudności opracowania najkorzystniejszych rozwiązań technologicznych wynikają z dużego zróżnicowania właściwości skał nadkładu i złoża kopaliny, co miało miejsce w przypadku złoża węgla brunatnego Bełchatów. Obok skał sypkich (piaski, żwiry) oraz miękkich (iły), urabianych wysoko wydajnymi koparkami wieloczerpakowymi, występują skały trudnourabialne (wapienie, piaskowce), wymagające całkowicie odrębnych technologii urabiania, np. robót strzałowych. Wymienione skały trudnourabialne, powodujące trudności w ich eksploatacji, charakteryzują się również właściwościami surowcowymi, co zostało w pewnym stopniu wykorzystane przez kopalnię Bełchatów.

We wcześniejszych fazach dokumentowania złoża niektórym skałom, zwłaszcza litym i zwięzłym, nie poświęcano wystarczającej uwagi. Wytłumaczyć to można częściowo faktem, że występują one w partiach złoża przewidzianych do eksploatacji w późniejszym okresie. Zatem, w niniejszej pracy zamieszczono wyniki badań nad skałami litymi i zwięzłymi, wykonanymi już podczas eksploatacji złoża. W badaniach tych, obok oceny przydatności surowcowej tych skał, uwagę skoncentrowano na sporządzeniu charakterystyki właściwości fizyko-mechanicznych skał, a pośrednio ich urabialności.

Pomimo że eksploatacja węgla brunatnego dobiega końca, to wieloletnie doświadczenia w dokumentowaniu tego wielokopalinowego złoża powinny być opracowane i wykorzystane przy modyfikacji procedur dokumentowania złóż, jak i w procesie projektowania i eksploatacji. Zebrane doświadczenia pozwoliły sformułować zalecenia dotyczące konieczności dokonywania, z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym, obok oceny przydatności surowcowej, określenia również właściwości niezbędnych dla wyboru najkorzystniejszej technologii eksploatacji. Pomocne mogą tu być opracowane przez autorów propozycje wprowadzenia zmian w procedurach dokumentowania złóż i klasyfikacji urabialności skał. Modyfikacji i konkretyzacji wymagają przede wszystkim przepisy dotyczące:

- dokumentowania złóż z uwzględnieniem oceny przydatności surowcowej oraz pozasurowcowej kopaliny i skał nadkładowych;
- usankcjonowania prawnego złóż antropogenicznych;
- gwarancji prawnych i finansowych dla gromadzenia kopaliny towarzyszących w złożach antropogenicznych.

1.2. Wielokopalinowy charakter złóż węgla brunatnego

Krajowe złoża węgla brunatnego według H. Gruszczyka (1983) zalicza się do odmian wielokopalinowych, w których oprócz kopaliny głównej – węgla, występuje wiele różnych skał niewęglowych. Są to nagromadzenia w przewodzie egzogeniczne (kategoria osadowe, klasa wietrzeniowo-mechaniczne). Przez długi czas nie trafnie nazywano je skałami płonnymi.

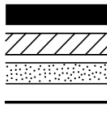
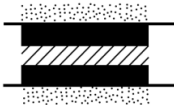
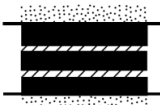
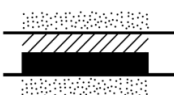
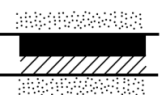

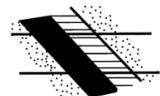
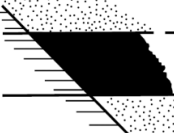
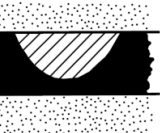

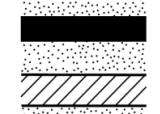
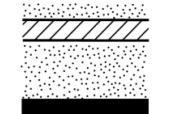

Z uwagi na geologiczno-górnice warunki zalegania węgla brunatnego eksploatacja złóż odbywa się systemem odkrywkowym i wymaga zdejmowania wspomnianych skał płonnych. Stanowiące je kopaliny, z uwagi na wykazywane właściwości surowcowe, budzą zainteresowanie praktyczne. Pojawiają się jednak liczne problemy, przede wszystkim natury technicznej i formalnoprawnej, związane z ich gospodarczym wykorzystaniem. Te pierwsze dotyczą dokumentowania warunków występowania, rozpoznania właściwości surowcowych i określenia zasobów oraz doboru metod eksploatacji. Drugie, związane są z uzasadnieniem celowości podjęcia ich wydobywania czy przydatności surowcowej. W celu rozwiązania tych problemów warunkiem koniecznym do spełnienia było wprowadzenie przepisów formalnoprawnych, które umożliwiły traktowanie ich jako kopaliny towarzyszących. Wymagało to z kolei określenia złożowych warunków ich zalegania, charakteru litologicznego i składu mineralno-chemicznego, a także właściwości surowcowych oraz zasobów.

Na sposób występowania, czyli formę zalegania, a w dalszej kolejności również charakter litologiczny kopaliny towarzyszących, decydujący wpływ miał typ morfogenetyczny nagromadzeń węgla brunatnego. Przybierały one postać pokładową, soczewkową lub gniazdową. Mogły przewarstwić kopalinę główną, przylegać do jej stropu czy spągu, czy też lokalizować się w większym lub mniejszym oddaleniu od niej. M. Nieć (1994), z uwagi na parametry geologiczno-górnice, wyróżnił następujące możliwości ich usytuowania w górotworze brunatnowęglowym:

- przewarstwiają;
- przylegające (z trzema wariantami);
- nieprzylegające (z dwoma sposobami zalegania).

Wymienione sposoby występowania kopaliny towarzyszących w złożach węgla brunatnego przedstawiono na rysunku 1.1. W przypadku pokładowej (stratoidalnej) formy zalegania rozmiary nagromadzeń kopaliny towarzyszących mogą osiągać znaczne rozmiary. Wówczas rozpoznanie ich charakteru geologiczno-złożowego, już na etapie dokumentowania kopaliny głównej, nie nastręcza większych trudności. Przy kształtach soczewkowych, gniazdowych czy glaciektonicznie zaburzonych wykazanie ich obecności w górotworze może okazać się utrudnione z uwagi na zazwyczaj małe rozmiary tego typu wystąpień.

Charakter budowy geologicznej nagromadzeń kopaliny towarzyszących jest odpowiedzialny za zaistnienie i rodzaj procesów prowadzących do pojawienia się różnych ich odmian. Dokumentacja tych wystąpień, poza ciągłą weryfikacją budowy geologicznej złoża, umożliwia notowanie obecności kopaliny towarzyszących. Są to czynności niezbędne, po pierwsze, dla bieżącej

Typ złoża kopaliny towarzyszącej		Sposób występowania kopaliny towarzyszącej w stosunku do kopaliny głównej	Przykłady	 Kopalina główna Kopalina towarzysząca Skały płonne Granica poziomów eksploatacyjnych
Przewarstwiałe	I	PRZEWARSTWIENIA I PRZEROSTY W ZŁOŻU KOPALINY GŁÓWNEJ	PRZEROSTY ILASTE I PRZEWARSTWIENIA KREDY JEZIORNEJ	 
	II a	PRZYLEGAJĄCE W STROPIE LUB SPAGU DO KOPALINY GŁÓWNEJ W ZŁOŻACH POZIOMO UŁOŻONYCH	ILY I PIASKI	 
	II b	PRZYLEGAJĄCE DO STROPU LUB SPAGU KOPALINY GŁÓWNEJ W ZŁOŻACH STROMO NACHYLONYCH	ILY I PIASKI	 
Przylegające	II c	PRZYLEGAJĄCE DO ZŁOŻA KOPALINY GŁÓWNEJ WZDŁUŻ GRANIC NIECIĄGŁOŚCI (TEKTONICZNYCH, EROZYJNYCH, WIEETRZENIOWYCH)	ILY, KREDA JEZIORNA	 
	III a	NIEPRZYLEGAJĄCE DO KOPALINY GŁÓWNEJ, BLISKO POŁOŻONE	ILY, KRUSZYWO NATURALNE	 
	III b	NIEPRZYLEGAJĄCE I ODDALONE OD KOPALINY GŁÓWNEJ	SOLE CECHSZTYŃSKIE, GŁAZY NARZUTOWE, WAPIENIE MEZOZOICZNE, KREDA JEZIORNA	 
Nieprzylegające				

Rys. 1.1. Geologiczno-górnicza klasyfikacja kopalin towarzyszących wg M. Niecia (1994)

obsługi geologicznej złoża, a po drugie, dla prognozowania problemów wynikających z obecności kopalin towarzyszących. Umożliwiają one też określenie sposobu zalegania tych kopalin, w dalszej kolejności ich charakteru litologicznego, a na końcu właściwości surowcowych.

Stratygraficznie kopaliny towarzyszące reprezentują głównie sedymenty kenozoiczne (neogeńskie i czwartorzędowe), a rzadziej mezozoiczne. Charakter litologiczny osadów neogeńskich bywa zróżnicowany. Skład petrograficzny tych utworów stanowi efekt oddziaływa-

nia wielorakich procesów fizykochemicznych zachodzących rowie tektonicznym Kleszczowa. W neogenie stanowił on część systemu rzecznego, z okresowo występującymi rozległymi torfowiskami i słodkowodnymi zbiornikami jeziornymi. Sprawilo to, że górotwór brunatnowęglowy w dominującym stopniu (oprócz węgla brunatnego) gromadzi obecnie luźne, zmienne granulometrycznie skały sypkie (piaski, żwiry) oraz zróżnicowane z uwagi na skład mineralny utwory plastyczne (mułki, iły).

Podobny typ reprezentują sedymenty zaliczane do czwartorzędowych. W ich przypadku, m.in. w efekcie oddziaływania kolejnych zlodowaceń, pojawiły się osady o zmiennym uziarnieniu, składzie mineralnym czy stopniu lityfikacji. Są to odmiany luźne i plastyczne osadów, a także odbiegające od nich swą genezą, a przede wszystkim charakterem litologicznym głązy narzutowe.

Przedstawiony wyżej ogólny obraz niekiedy ulegał zakłóceniu, na co wpływ miała m.in. intensywność procesów dia- i epigenetycznych. Mogły one prowadzić do pojawienia się w górotworze brunatnowęglowym osadów o zupełnie innej charakterystyce litologicznej. Wówczas lokalnie w profilach litostratygraficznych złóż węgla brunatnego zalegają skały lite i zwięzłe. Występowanie tego typu skał, jak się później okazało, miało charakter lokalny lub niszowy. Stąd stwierdzanie ich obecności na etapie dokumentowania złoża często okazywało się trudne czy wręcz niemożliwe. Wykazywana niekiedy przez nie znaczna twardość mechaniczna, a także wspomniany sposób zalegania, powodowały trudności w procesach wydobywania, poważnie go utrudniając, a ponadto wymuszając potrzebę ich selektywnej eksploatacji.

Tabela 1.1. Niektóre odmiany kopalin towarzyszących ze złoża węgla brunatnego Bełchatów wg dokumentacji geologicznej z 1964 r. wraz z zasobami*

Rodzaj kopaliny	Zasoby
Piaski do podszadki płynnej	11,3 mln m ³
Pospółki piaszczysto-żwirowe	2,5 mln Mg
Piaski budowlane	42,5 mln Mg
Iły do produkcji cementu	5,2 mln Mg
Iły do produkcji ceramiki budowlanej	38,5 mln Mg
Kreda jeziorna	13,8 mln Mg
Piaski kwarcowe	3,0 mln m ³
Skały wapienne	30,0 mln m ³
Bruki krzemienne	1,54 mln Mg
Torfy	2,0 mln Mg

* W przypadku wielkości zasobów skorzystano z informacji pochodzących z różnych źródeł. Mankamentem takiego postępowania był fakt, że znajdujące się w nich dane liczbowe, dotyczące zasobów kopalin, były podawane w różnych jednostkach, nie zawsze obowiązujących aktualnie. Zdecydowano się nie korygować ich, lecz przedstawiać je w postaci oryginalnej. Taki sposób rozwiązania tego zagadnienia w niektórych przypadkach może jednak budzić zastrzeżenia.

Kopaliny towarzyszące w przypadku złoża węgla brunatnego Bełchatów zostały odnotowane w pierwszej dokumentacji geologicznej pochodzącej z 1964 roku. Wymienione są w niej odmiany tych kopalin (wraz z zasobami), które pretendowały do miana towarzyszących (tab. 1.1). Treść tej tabeli wymaga jednak komentarza, co wynika z braku konsekwencji w stosowanej terminologii w przypadku kolejnych odmian tych kopalin. Obok nazw litologicznych, czy wręcz petrograficznych definiujących poszczególne ich odmiany, znajdują się w niej i takie, które sugerują czy nawet determinują surowcowy kierunek wykorzystania.

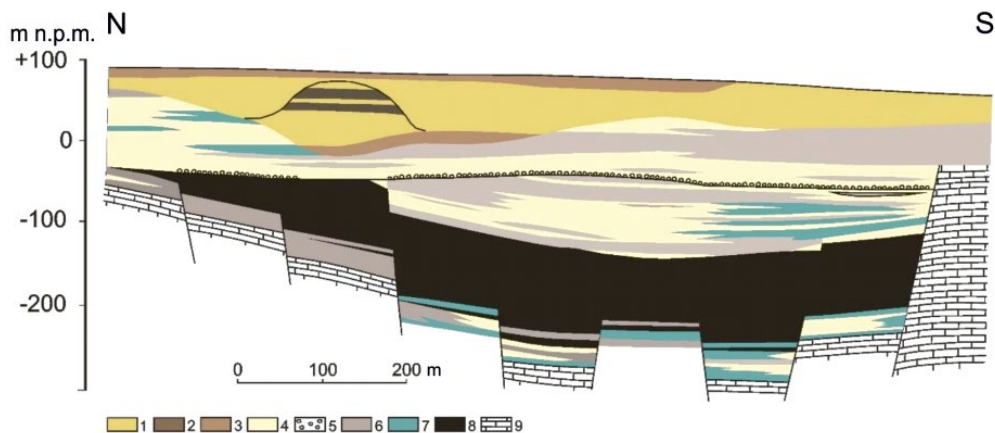
1.3. Złoże węgla brunatnego Bełchatów a problem kopalin towarzyszących

Złoże węgla brunatnego Bełchatów usytuowane jest w rowie tektonicznym Kleszczowa. Składa się z trzech pól: Bełchatów, Szczerców i Kamieńsk rozdzielonych naturalnymi granicami. Rów ten stanowi wąską, o szerokości od 2,5 do 3 km i długości około 60 km depresję o przebiegu W–E, założoną w utworach mezozoicznych. Charakteryzuje się on skomplikowaną budową geologiczną determinowaną obecnością licznych stromych uskoków o przeciwnych kierunkach zrzutu, przekraczających nawet 400 m (rys. 1.2). Otwarcie rowu nastąpiło prawdopodobnie w paleogenie jako efekt ruchów rozciągających, czyli tensyjnych i/lub trantensyjnych. Części rowu zlokalizowane pomiędzy kolejnymi uskokami uległy wówczas silnej subsydencji. Następnie zostały również zapoczątkowane procesy zmierzające do wypełnienia go osadami neogeńskiej formacji brunatnowęglowej. Narastająca wśród gromadzonych sedymentów masa torfowa dała początek procesom uwęglenia (bio- i geochemicznym), które doprowadziły do powstania bogatych pokładów węgla brunatnego. Zasypywanie rowu, połączone z dalszym powolnym obniżaniem się jego dna, trwało najprawdopodobniej do pliocenu. Wskutek tego podkład główny węgla brunatnego zalega na głębokości od 150 do 360 m (rys. 1.2).

Osady mezozoiczne w złożu Bełchatów reprezentowane są przez sedymenty jury i kredy. W Polu Bełchatów skały kredy to różne litologicznie odmiany wapieni (szare, margliste), a poza tym margle, gezy, opoki i rzadziej piaskowce oraz mułowce. Skały te są silnie zaangażowane tektonicznie, stąd większość z nich ma charakter brekcji spękaniowej lub tektonicznej, której towarzyszą zwietrzelina i rumosz. Skały jury obecne w tym polu złożowym to głównie wapienie mikrytowe, a także ich odmiany skaliste i płytowe. Towarzyszą im margle i margle z krzemieniami.

W Polu Szczerców utwory mezozoiczne to głównie wapienie i margle jurajskie oraz zwietrzeliny, rumosze i brekcje tektoniczne.

Zarówno w skałach jurajskich, jak i kredowych obecnych w polach Bełchatów i Szczerców silnie rozwinęły się zjawiska krasowe. Skały mezozoiczne charakteryzują się obecnością wyraźnych szczelin ciosowych. Prowadzi to do intensywnego pękania skał, co w dal-



Rys. 1.2. Przekrój geologiczny przez złożo Bełchatów (Pole Szczerców) wg E. Ciuka (1966)
Objaśnienia: czwartorzęd: 1 – piaski, 2 – muly, 3 – gliny; neogen i paleogen: 4 – piaski, 5 – piaski gruboziarniste, 6 – muly; 7 – ily, 8 – węgiel brunatny; jura: 9 – wapienie i margle

szej kolejności powoduje ich rozdrabnianie i intensyfikację krasu. W efekcie tego tworzą się znaczne ilości rumoszu skalnego, częściowo zlepionego substancją ilastą, żelazistą lub krzemionkową.

Profil litostratygraficzny neogenu brunatnowęglowego w złożu Bełchatów obejmuje cztery kompleksy skalne: podwęglowy, węglowy, ilasto-węglowy i ilasto-piaszczysty (rys. 1.3). Już sama terminologia tych serii wskazuje na dominację w nich skał plastycznych i sypkich.

Zdaniem m.in. W. Wiśniewskiego (2000) w przypadku złoża węgla brunatnego Bełchatów do miana kopalin towarzyszących pretenduje 21 ich odmian. Z czasem okazało się jednak, że prognoza ta była zbyt optymistyczna. Prowadzone badania geologiczno-złożowo-surowcowe wykazały, że tylko część tych kopalin nie spełnia odpowiednich kryteriów. Poniżej podano zestawienie kopalin towarzyszących obecnych w złożu węgla brunatnego Bełchatów. Stanowi to efekt prac różnych autorów, a kopalinami tymi są:

- piaski i żwiry plejstocénskie,
- czwartorzędowe piaskowce żelaziste,
- skały ilaste (beidellitowe, illitowe, kaolinitowe, warwowe, gliny lodowcowe),
- paratonsteiny,
- kreda jeziorna,
- piaski kwarcowe,
- pospółka piaszczysto-żwirowa (bruki krzemienne),
- wapienie mezozoiczne,
- piaskowce i zlepienie krzemionkowe,
- głązy narzutowe,

- torfy,
- gazy kopalniane,
- wody pitne,
- bursztyny,
- przejściowe i okruchowe skały podłoża: arenity, waki, margle, gezy, opoki.

Uzasadnienie stosowania terminu „kopalina towarzysząca” ma charakter formalnoprawny. By skałę lub osad nazwać kopaliną towarzyszącą, wymaga to przeprowadzenia szeregu badań geologicznych, złożowych i surowcowych, będących podstawą do ich udokumentowania (M. Nieć 1994; K. Szamałek 2001; R. Uberman i M. Nieć 2014). R. Wyrwicki (2002) w stosunku do tych kopalin użył terminu „współwystępujące”. W planach ruchu zakładów górniczych są one określane zupełnie niepasującym do nich pojęciami „masy skalne” lub „gleby kopalne”. Funkcjonują one z uwagi na brak kompleksowego rozpoznania charakteru litologicznego czy właściwości surowcowych omawianych kopalin. W literaturze naukowej określane są one też, jak już wspomniano, terminem „skały płonne”.

Problem rozpoznania geologiczno-złożowych warunków zalegania kopalin towarzyszących wymaga w pierwszej kolejności znajomości budowy geologicznej złóż węgla. Jest ona bowiem odpowiedzialna za zaistnienie procesów prowadzących do powstania tego typu kopalin. Istotne jest również bieżące dokumentowanie tych kopalin podczas prac rozpoznawczych, wyprzedzających front eksploatacji. Umożliwia to lepsze prognozowanie zagrożeń mogących wystąpić podczas ich eksploatacji. Pozwala to na bieżąco weryfikować budowę geologiczną złoża. Może również przybliżyć sposób zalegania skał oraz przyczynić się do określenia ich litologii.

Określenie możliwości wykorzystania surowcowego kopalin ze złoża Bełchatów, pretendujących do miana towarzyszących, wymagało realizacji różnorodnych badań. Prowadziły one zarówno do rozpoznania właściwości surowcowych, jak i zmierzających do ustalenia formy występowania, geologicznych warunków zalegania, a także zasobów tych kopalin.

1.4. Metodyka badań kopalin towarzyszących

Wyniki realizowanych prac wykazały, że zarówno stopień rozpoznania geologiczno-złożowego kopalin, a w ślad za tym i surowcowego, potwierdza ich zróżnicowanie litologiczno-petrograficzne. Spośród nich zwrócono uwagę na grupę kopalin odznaczających się znaczną wytrzymałością mechaniczną. Sprawiają one przez to trudności eksploatacyjne, spotęgowane bardzo często sposobem zalegania. Zaczęto je nazywać skałami lub utworami trudnourabialnymi. Należą do nich głązy narzutowe, pospółka piaszczysto-żwirowa (bruki krzemienne), piaskowce i zlepieńce krzemionkowe oraz wapienie mezozoiczne. Niekiedy kryteria te spełniają też gliny lodowcowe, zwłaszcza przy dużej obecności głązów narzutowych. Są to więc skały (rzadziej osady) głównie neogeńskie, ale też czwartorzędowe i mezozoiczne. Wy-

dawałoby się, że grupa tych skał, z uwagi na wykazywany charakter fizyko-mechaniczny, posiada zunifikowane cechy umożliwiające jedynie produkcję kruszywa mineralnego. Okazało się jednak, że mogą być one wykorzystywane również w innych technologiach, stąd mają charakter wielosuwrowcowy. Dlatego właśnie stanowiły one przedmiot zainteresowania w tej pracy. Godny podkreślenia z punktu widzenia surowcowego pozostaje fakt, że część z nich, z uwagi na wykazywane właściwości, pretenduje do miana sorbentów mineralnych. W przypadku kopalin węgla brunatnego mogą one być wykorzystywane do neutralizacji czy obniżenia szkodliwego oddziaływania procesów górniczo-energetycznych, związanych z wydobyciem i przetwarzaniem węgla, na środowisko naturalne. Ich charakter i właściwości pozwalają sorbować media stałe, ciekłe i gazowe. Sorbenty te służą do budowy przesłon hydroizolacyjnych czy obniżenia emisji SO_2 z gazów elektrowniowych. Wpisują się przez to i spełniają „goetelowską” sentencję, że „to, co przemysł zniszczył, powinien naprawić”. Kreuje to również sytuację, że taki sposób wykorzystania tych kopalin ma symptomy gospodarki w obiegu zamkniętym.

Z czasem znaczenie problematyki kopalin towarzyszących okazało się jednym z priorytetowych zagadnień złożowo-surowcowych w przypadku złoża węgla brunatnego Bełchatów. Kopalnia w zasadzie od początków swego funkcjonowania podejmowała różnorakie wysiłki zmierzające do rozwiązania tej problematyki. Obejmowały one sferę zagadnień naukowo-badawczych i organizacyjnych.

W pierwszym przypadku były to prace o charakterze geologiczno-złożowo-surowcowym. Obejmowały one określenie warunków zalegania tych kopalin w złożu, ustalenia zasobów, charakteru litologicznego, składu mineralno-chemicznego oraz właściwości surowcowych, a na ich podstawie możliwości i kierunków wykorzystania. Wymagało to prowadzenia prac kartograficznych, profilowania rdzeni wiertniczych, pobierania próbek, badań analitycznych i studialnych, które realizowały kopalniane służby geologiczne. Stanowiły też efekt współpracy z uczelniami wyższymi (Akademią Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica, Uniwersytetami Warszawskim i Wrocławskim), instytutami naukowo-badawczymi (Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Państwowy Instytut Geologiczny, Główny Instytut Górnictwa) oraz przedsiębiorstwami zajmującymi się problematyką surowcową (m.in. COB-P Górnictwa Odkrywkowego POLTEGOR, Biuro Projektów Górniczych i Geologicznych PROGIG). W znacznym stopniu wyniki ich prac i badań stały się częścią dokumentacji geologicznych i dodatków do nich. Służyły one też podejmowaniu operacyjnych decyzji ruchowych przez służby kopalniane, a ponadto umożliwiły:

- powstanie Jednolitej Bazy Danych Geologicznych (JBDG). Utworzona ona została w 1975 r. z inicjatywy wspomnianego POLTEGOR-u. JBDG gromadzi dane na temat poszczególnych odmian kopalin towarzyszących i jest pomocna w celu racjonalnego planowania robót górniczych. Pozwala ona też wytypować odmiany kopalin najkorzystniejsze surowcowo w celu kontynuowania ich badań i ewentualnej eksploatacji. JBDG jest bazą dynamiczną, ciągle aktualizowaną;

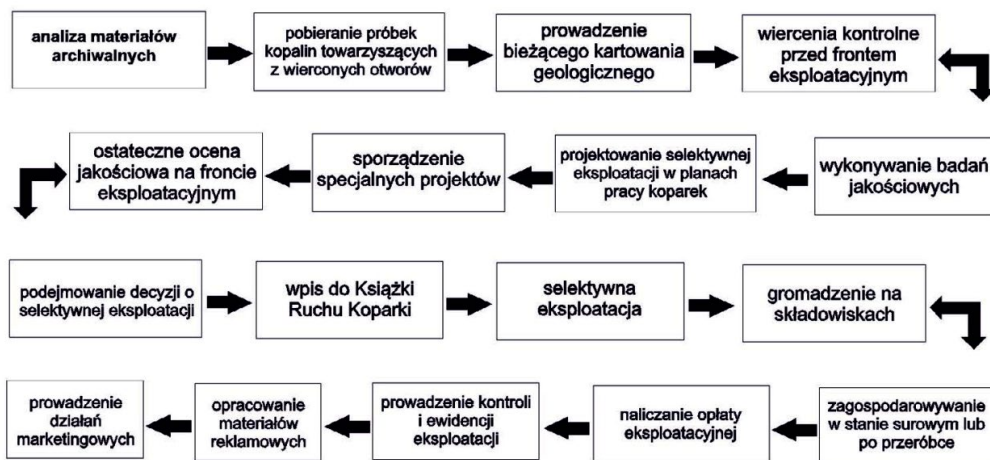
- tworzenie złóż antropogenicznych. W tym przypadku skorzystano z możliwości, które wynikały z odpowiednich sformułowań prawodawstwa geologiczno-górniczego. Dotyczą one wpiętych koncesji na wydobywanie kopalin towarzyszących, potem tworzenia złóż antropogenicznych, a na końcu opłat eksploatacyjnych.

Z inicjatywy kopalni Bełchatów organizowane były też cykliczne międzynarodowe konferencje naukowe na temat kopalin towarzyszących i złóż antropogenicznych. Natomiast Zakład Geologii Stosowanej Uniwersytetu Wrocławskiego w Dodatku nr 1 do „Kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego Bełchatów – Pole Bełchatów w kat. C1 + B” z 1994 r. zaproponował nowe podejście do problemów dokumentowania i zagospodarowania kopalin towarzyszących. Dotyczyło to innego sposobu wyznaczania granic pól obliczeniowych zasoby (punktów eksploatacyjnych), zmianę kryteriów i metod prowadzenia eksploatacji.

Najważniejsze z proponowanych decyzji organizacyjnych to:

- tworzenie tzw. punktów eksploatacyjnych. Problem ten pojawił się w 2010 r. Dotyczył on wytypowania fragmentów kompleksów skalnych obejmujących kopalinę towarzyszącą, a przeznaczonych do ewentualnej eksploatacji i wykorzystania. Dokonywano tego na podstawie bieżącej oceny geologiczno-złożowo-surowcowej przeprowadzanej przez geologiczne służby kopalniane, a także operatywnych decyzji ruchowych. Procedurę tę z powodzeniem zastosowano w przypadku wapieni mezozoicznych;
- utworzenie jednostki organizacyjnej w strukturze kopalni mającej zajmować się problematyką kopalin towarzyszących. Był nią Dział Aktywizacji Kopalin Towarzyszących, który z czasem przemianowany został w Sekcję Nadkładu i Kopalin Towarzyszących. Działalność tych jednostek doprowadziła do ustalenia „Procedury eksploatacji i zagospodarowania kopalin towarzyszących” (K. Adamczyk i in. 2012a, rys. 1.4);
- powstanie magazynu próbek kopalin towarzyszących pobieranych z otworów wiertniczych czy ścian eksploatacyjnych. Gwarantowało to rytmiczność i powtarzalność prac analitycznych;
- zaproponowanie i wdrażanie innych rozwiązań organizacyjnych. Dla usprawnienia robót górniczych wprowadzono plan pracy koparek. Ich składowymi były informacje na temat lokalizacji rejonów i ilości kopalin towarzyszących, a także skał trudnourabialnych przewidywanych do urabiania;
- określenie zadań i odpowiedzialności poszczególnych jednostek organizacyjnych w zakresie eksploatacji i zagospodarowania kopalin towarzyszących. Wówczas też powstała „Książka kontroli zabezpieczenia przed zniszczeniem kopalin towarzyszących oraz możliwości ich wykorzystania” (K. Adamczyk i in. 2012a);
- wypracowanie przez kopalnię procedur niezbędnych do racjonalnej gospodarki kopalninami towarzyszącymi. Powstały one w 2010 roku. Obejmowały potrzebę określenia

w ich przypadku rodzaju kopalin, rejonów występowania, rzędnych zalegania, parametrów jakościowych i zasobów przewidzianych do wydobywania. Procedury te miały stać się częścią wspomnianych planów pracy koparek.



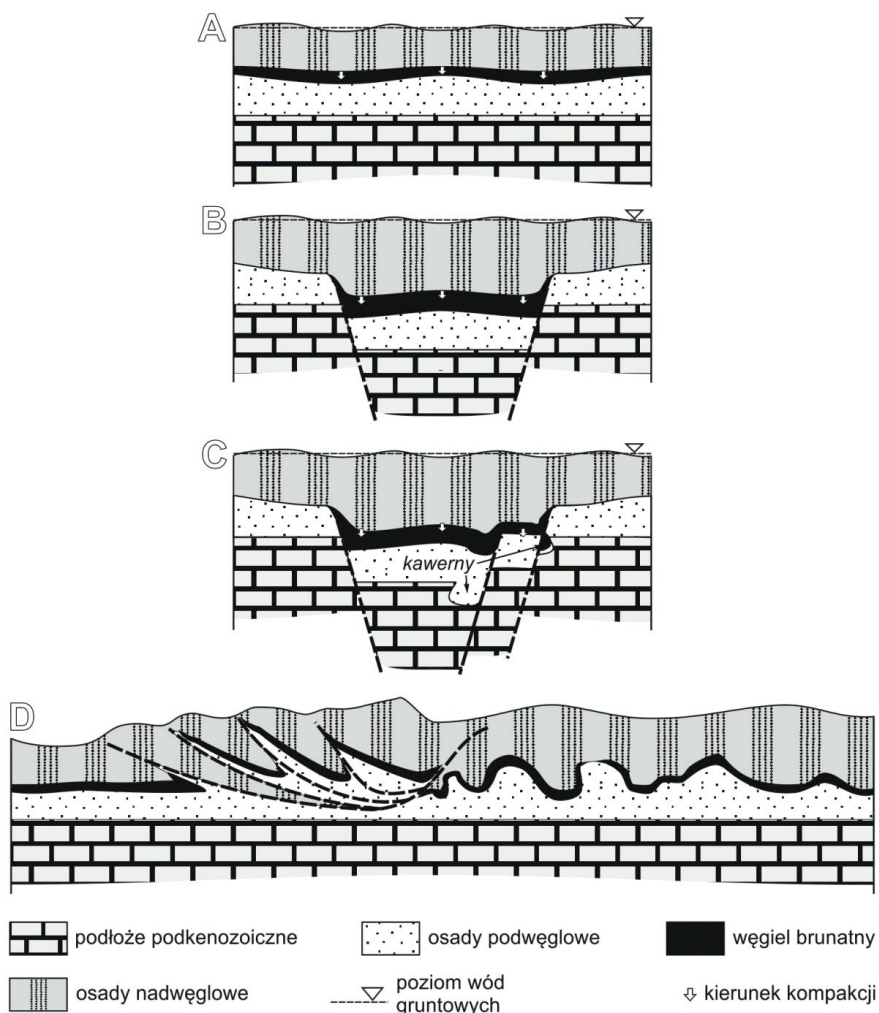
Rys. 1.4. Logistyka dotycząca procedur eksploatacji i zagospodarowania kopalin towarzyszących w kopalni Bełchatów (K. Adamczyk i in. 2012a)

1.5. Skały trudnourabialne w złożu Bełchatów

Sytuację dotyczącą gospodarczego wykorzystania kopalin towarzyszących ze złoża Bełchatów można uznać za niesatysfakcjonującą w pełni. Brak zainteresowania kopalinami sprawił, że likwidacji uległa część złóż antropogenicznych mająca być gwarantem zabezpieczenia ich zasobów przed bezpowrotną stratą. Jednak z czasem okazało się, że nie był to koniec „odysei” surowcowej tych kopalin. Wyniknęło to z możliwości wykorzystania niektórych ich odmian w zupełnie innym kierunku technologicznym. Część z nich, z uwagi na swe właściwości fizyko-mechaniczne, została zaliczona do skał trudnourabialnych, które mogą być wykorzystane do produkcji kruszywa mineralnego. Istniejący popyt na te wyroby sprawił, że odmiany spełniające kryteria skał trudnourabialnych dalej stanowiły obiekt zainteresowania surowcowego.

W sytuacji polskich złóż węgla brunatnego problem skał trudnourabialnych najbardziej wyrazisty wydaje się być w przypadku nagromadzenia tej kopaliny w złożu Bełchatów. Przyczyny tego należy upatrywać m.in. w charakterze jego budowy geologicznej. Sprawia ona, że złożo to spełnia kryteria umożliwiające zaliczyć je głównie do typu tektonicznego. Niemniej jednak można się w nim doszukać elementów epejrogenicznych, glacitektonicznych, a także

oddziaływań krasu. Tak więc, skomplikowany charakter budowy geologicznej stał się przyczyną pojawienia się w profilu litologicznym złoża różnych form występowania skał trudnourabialnych. Przy identyfikacji skorzystano z podziału genetycznego polskich złóż węgla brunatnego autorstwa M. Widery (2021; rys. 1.5).



Rys. 1.5. Strukturalne modele zalegania skał trudno urabialnych w górotworze brunatnowęglowym wg M. Widery (2021). Objasnienia: typ genetyczny złoża: A – epejrogeniczny, B – tektoniczny, C – tektoniczno-krasowy, D – glacitektoniczny

Dowodem działalności mechanizmów charakterystycznych dla złóż epejrogenicznych w przypadku nagromadzenia węgla w Bełchatowie jest obecność pokładowych lub soczewkowych form ilów, piasków czy żwirów. W trakcie diagenety czy epigenety w przypadku takie-

go górotworu mogły pojawić i oddziaływać na zgromadzone osady procesy fizyko-chemiczne, które doprowadziły do pojawienia się skał o zupełnie innej charakterystyce petrograficznej, m.in. piaskowców i zlepieńców krzemionkowych. Model powstawania i sposób zalegania, typ skał trudnourabialnych w przypadku złóż epejrogenicznych przedstawia rysunek 1.5A.

Przyjmuje się, że złoża węgla brunatnego Bełchatów ma generalnie charakter tektoniczny. Stąd też forma zalegania skał trudnourabialnych stanowi efekt przede wszystkim „architektury” starszych osadów podścielających węgiel i nawiązujących do ich cech strukturalnych. Są one wynikiem ruchów tektonicznych powodujących m.in. obniżenie dna zbiornika sedymentacyjnego. Takie liczne paleoobniżenia, których granice zostały wyznaczone przez uskoki, nazywane są rowem tektonicznym Kleszczowa. W tym przypadku skutki procesów tektonicznych są szczególnie dobrze widoczne w obrębie mezozoicznych wapieni i margli. Osady wypełniające rów odznaczają się zróżnicowanymi wysokościami (deniwelacjami) zalegania, będące efektem zafałdowania i zuskokowania. Z kolei wtórne procesy mineralizacyjne doprowadziły do powstania skał zaliczanych do grupy przejściowych. Model złoża węgla brunatnego typu tektonicznego przedstawiono na rysunku 1.5B.

Rów Kleszczowa, ze złożem Bełchatów (Pole Bełchatów, Pole Szczerców), otoczony jest wysoko wyniesionymi mezozoicznymi skałami wapiennymi. W tej sytuacji powszechne jest występowanie zjawisk krasowych, związanych z procesami rozpuszczania kalcytu i powstawanie różnego rodzaju niewielkich pustek skalnych, tzw. kawern. Formy te bardzo często zostały wypełnione rumoszem skalnym, a niekiedy węglem brunatnym. Model złoża węgla brunatnego typu tektoniczno-krasowego przedstawiono na rysunku 1.5C.

Osady glacitektoniczne obecne w złożu Bełchatów pojawiły się w efekcie przemieszczenia się lądolodów skandynawskich. Przetransportowany został w ten sposób m.in. materiał skalny (głazy narzutowe) spełniający kryteria skał trudnourabialnych. Model złoża węgla brunatnego typu glacitektonicznego przedstawiono na rysunku 1.5D.

W złożu Bełchatów obecne są też pokładowe lub soczewkowe formy ilów, piasków i żwirów. Podczas diagenety czy epigenety mogły pojawić się i oddziaływać na zgromadzone osady procesy fizyko-chemiczne, które doprowadziły do pojawienia się skał o zupełnie innej charakterystyce petrograficznej, np. piaskowców i zlepieńców krzemionkowych.

Według L. Czarneckiego i in. (2010) obecność skał trudnourabialnych w Polu Bełchatów po raz pierwszy stwierdzono w 1979 r. Były to wspomniane piaskowce i zlepieńce krzemionkowe. Z kolei w obrębie Pola Szczerców, w miarę postępujących procesów wydobywczych, odślaniano również inne skały zaliczane do trudnourabialnych. W pierwszej kolejności należały do nich wapień mezozoiczne (L. Czarnecki i in. 2010).

Należy wspomnieć, że informacje na temat skał niewęglowych w złożu Bełchatów, może nie do końca konsekwentnie, odnotowano w Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej z 1964 r. Zatem ich obecność musiała zostać już stwierdzona na etapie wykonywania wierceń rozpoznawczych. Wśród skał niewęglowych wymieniono wówczas pospółkę piaszczysto-żwirową, bruki krzemienne i wapień (tab. 1.2). Ówczesny stopień rozpoznania złoża po-

mijał inne odmiany tego typu skał. Problem obecności skał trudnourabialnych zaczął jednak nabrzmiewać z chwilą rozpoczęcia prac udostępniających, a później eksploatacyjnych.

Tabela 1.2. Odmiany skał trudnourabialnych i ich zasoby według Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej... (1964)

Rodzaj skał	Zasoby
Pospółka piaszczysto-żwirowa	2,5 mln Mg
Skały wapienne	30 mln m ³
Bruki krzemienne	1,54 mln Mg

Budowa geologiczna złoża węgla brunatnego Bełchatów sprawiła, że formy zalegania skał trudnourabialnych są zróżnicowane, a przy tym skomplikowane. Według W. Koziola i in. (1994) przybierają one następujące kształty:

- warstw bardzo często zalegających horyzontalnie;
- nieregularnych, a przez to nieprzewidywalnych nagromadzeń soczewkowych czy pokładowych;
- odspojonych od górotworu brunatnowęglowego czy nawet ścian odkrywek brył i buł;
- przypadkowo rozmieszczonych w osadach czwartorzędowych głazów narzutowych.

Według W. Koziola i in. (2007a, 2011), a także T. Ratajczaka i in. (2017) do skał trudnourabialnych obecnych w złożu Bełchatów zalicza się następujące odmiany:

- utwory podłoża mezozoicznego. Są to głównie zróżnicowane petrograficznie wapienie, a także margle i mułowce, skały okrucowe i przejściowe (waki, arkozy, gezy i opoki);
- piaskowce i zlepieńce krzemionkowe;
- głazy narzutowe zalegające wśród czwartorzędowych glin lodowcowych;
- czwartorzędowe piaskowce żelaziste;
- bruki i żwiry (bruki krzemienne).

Do tego typu utworów autorzy zaliczyli także skrzemieniałe buły, gliny lodowcowe, jak i fragmenty pni drzew.

Pośród wymienionych odmian skał trudnourabialnych, znanych ze złoża węgla brunatnego Bełchatów, największe problemy wynikają z obecności neogeńskich piaskowców i zlepieńców oraz wapieni mezozoicznych. Pełnią one rolę tzw. okrętów flagowych w zagadnieniach dotyczących skał trudnourabialnych i kopalin towarzyszących.

Inny sposób klasyfikacji skał trudnourabialnych obecnych w złożu węgla brunatnego Bełchatów zaproponował L. Czarnecki (2005). Ze względu na możliwość i szansę prognozowania miejsc ich zalegania podzielił je na dwa rodzaje skał:

- których rejony występowania są łatwe do prognozowania;
- trudne do ustalenia ich lokalizacji.

Grupa pierwsza to skały mezozoiczne występujące na obrzeżach rowu Kleszczowa. Obszar ich występowania ograniczony jest przebiegiem uskoków brzeżnych tego rowu. Przez to lokalizację trudnourabialnych skał mezozoicznych można prognozować na podstawie:

- usytuowania i przebiegu uskoków brzeżnych;
- morfologii stropu podłoża mezozoicznego.

Elementem komplikującym proces prognozowania tego typu nagromadzeń jest fakt, że układ wyrobisk górniczych nie pokrywa się z przebiegiem struktur geologicznych rowu. W związku z tym charakter litologiczny skał odsłaniających się w ścianach odkrywek ulega zmianie. To z kolei powoduje przecinanie przez ściany wyrobisk odmiennych petrograficznie odmian skał o różnej urabialności.

Druga grupa skał trudnourabialnych to wtórnie zsylikowane piaski, przybierające formy piaskowców i zlepieńców krzemionkowych. Ich występowanie związane jest z kilkoma poziomami litostratygraficznymi złoże Bełchatów. Są one najtrudniejszą grupą skał do prognozowania ze względu na sposób zalegania. Sytuację tę utrudnia m.in. fakt, że brakuje związków pomiędzy ich obecnością w profilu złoże a jakąkolwiek strukturą tektoniczną czy sedymentacyjną. Do tej samej grupy skał, z uwagi na sposób zalegania, można zaliczyć głązy narzutowe oraz bruki krzemienne.

Kompleksowe rozwiązanie problematyki skał trudnourabialnych zalegających w złoże węgla brunatnego Bełchatów wg L. Czarneckiego i E. Sośniaka (2007), a także W. Kozioła i in. (2007a) wymaga działań obejmujących trzy obszary:

- pierwszy dotyczy doskonalenia badań i czynności zmierzających do określenia najpierw lokalizacji, a później okonturowania stref ich zalegania. Są to działania niezbędne z uwagi na możliwość pomijania tych stref. Eliminuje się tę niedogodność drogą korekty granic zalegania tych skał;
- drugi aktualny jest w sytuacji, kiedy zachodzi możliwość traktowania tych skał jako kopalin towarzyszących. Niezbędne jest wówczas ustalenie ich charakteru litologiczno-petrograficznego, a także cech fizykochemicznych i surowcowych. Ich rezultaty stanowią rękojmnię spełnienia przez nie (lub nie) przydatności surowcowej i zaproponowania kierunków praktycznego wykorzystania;
- trzeci uwzględnia zaproponowanie oraz wybór techniki i technologii wydobywania tych skał z uwzględnieniem geologiczno-górniczych warunków ich zalegania.

„Nieprzewidywalność” zalegania tego typu skał posiada swoje konsekwencje. Wymaga prowadzenia prac pozwalających w większym lub mniejszym stopniu rozpoznawać, czy sugerować miejsca ich zalegania zarówno pionowego (w profilu litologicznym osadów brunatnowęglowych), jak i poziomego (w granicach złoże, pól czy nawet poziomów eksploatacyjnych). Jest to niezbędne z dwóch powodów:

- eksploatacyjnych;
- umożliwiających traktowanie tych skał jako kopalin towarzyszących.

W pierwszym przypadku określenie sposobu ich górniczo-geologicznego zalegania daje możliwość sprawnego prowadzenia frontu eksploatacji węgla brunatnego. Drugi przypadek staje się aktualny w sytuacji, kiedy istnieją przesłanki surowcowe uzasadniające ich praktyczne wykorzystanie. Wiąże się z tym również konieczność okonturowania tego typu wystąpień i oszacowania zasobów kopalin.

2. Skały trudnourabialne a krajowe i światowe złoża węgla brunatnego

Problem utworów trudnourabialnych znany jest niemal we wszystkich krajowych kopalniach węgla brunatnego. Charakter litologiczny tych utworów jest zróżnicowany. W odkrywkach rejonu Turka i Konina najczęściej tego typu skał zalegało w złożu Lubstów (W. Koziół i in. 2007b). Obok gładów narzutowych do tej grupy skał autorzy zaliczyli także gliny lodowcowe. Prawdopodobnie związane jest to z tym, że gliny te w efekcie procesów wysychania stają się lite, a przez to twardsze. Dodatkowo znaczna zawartość gładów narzutowych w ich obrębie potęguje problem z urabianiem. W tym samym złożu stwierdzono obecność piaskowców krzemionkowych. Wystąpienia te miały charakter lokalny, a ich obecność została potwierdzona jako osobliwość geologiczna. Interesującym przykładem wystąpienia tego typu skał jest odkrywka Koźmin Południe. Ich zaleganie przyjmowało tam formę antyklinalnego wyniesienia o kubaturze ocenianej na kilkanaście tysięcy m³. Natomiast w odkrywce Adamów w latach 2019–2021 odsłaniały się pojedyncze fragmenty piaskowców krzemionkowych o objętości przekraczającej nawet 100 m³ (M. Widera i in. 2022).

W niektórych odkrywkach tego samego rejonu strefa eksploatacji węgla obejmowała także mezozoiczne margle i gezy, np. w odkrywkach Koźmin Południe i Adamów. Nie sprawiały one zasadniczych problemów wydobywczych z uwagi zarówno na charakter litologiczny, jak i sposób zalegania w postaci względnie niewysokich wyniesień podłoża mezozoicznego (M. Widera 1999; M. Widera i in. 2022).

W Turowie utwory trudnourabialne przyjmują postać piasków i żwirów scementowanych spoiwem ilastym, tzw. żwirowców, a także zlepieńców i konglomeratów, w których lepiszcze ma charakter żelazisty. Utrudnienia w eksploatacji nadkładu powodują także ławice sferosyderytów oraz soczewy i pojedyncze bryły oraz buły rumoszu skalnego. Utwory te koncentrują się głównie w serii międzywęglowej. Obecne w podłożu pokładów węgla skały magmowe i ich zwietrzelina nie powodują trudności eksploatacyjnych.

Również w przypadku złoża Złoczew i jego ewentualnej przyszłej eksploatacji należy się liczyć z obecnością skał trudnourabialnych. Dotychczasowy stopień rozpoznania jego budowy geologicznej wskazuje, że węgiel brunatny zalega w głębokim i wąskim rowie tektonicznym, założonym w utworach mezozoicznych. Zatem w strefie potencjalnej eksploatacji mogłyby znaleźć się wapienne skały podłoża. Według W. Koziola i Ł. Machniaka (2014),

a także M. Zajączkowskiego i in. (2016), przyszła eksploatacja węgla brunatnego w złożu Złoczew byłaby związana z wydobywaniem rocznie około 400–500 mln m³ skał trudnourabialnych, w tym głównie wapieni mezozoicznych. Miałyby one stanowić szacunkowo około 8% planowanego do zdejmowania nadkładu węgla.

Według T. Ratajczaka i in. (2017) w przypadku perspektywicznych złóż węgla brunatnego, tzw. lokalnych czy nieprzydatnych do wykorzystania gospodarczego, należy spodziewać się zbliżonych litologicznie odmian skał trudnourabialnych jak w przypadku złóż eksploatowanych. Tylko w sytuacji niektórych z nich charakter utworów trudnourabialnych jest odmienny. Należy do nich złoża Grudna Dolna położone na granicy nasunięcia karpackiego, gdzie skałami trudnourabialnymi byłyby piaskowce fliszu. Z kolei w złożu Trzydnik Mały w strefie eksploatacji znalazłyby się kredowe margle wapniste. Jeszcze inaczej wyglądał problem skał trudnourabialnych w sytuacji złoża Ciągowice. W tym przypadku eksploatacji jedynych na terenie Polski liasowych pokładów węgla brunatnego towarzyszyły syderyty.

Kilka małych, lokalnych złóż węgla brunatnego zlokalizowanych jest na przedgórzu Sudetów. Są to Siedlimowice, Kalno, Rusko-Jaroszów, Lusina-Udanin, Pichorowice, Sadlno i Polska Nowa Wieś. Niektóre z nich były eksploatowane, a wyróżnia je jedna wspólna cecha, to znaczy, że w ich podłożu zalegają granity. Sposób ich występowania i parametry fizyczno-mechaniczne sprawiają, że w przypadku eksploatacji węgla skał te zostałyby zaliczone do skał trudnourabialnych (T. Ratajczak i in. 2017).

Problem skał trudnourabialnych jest aktualny w również w wielu światowych złożach węgla brunatnego. W niektórych przypadkach wyraźnie różnią się one od złóż krajowych wiekiem, budową geologiczną oraz charakterem litologicznym występujących w ich obrębie skał.

W największym czeskim zagłębiu węgla brunatnego, czyli zagłębiu północnoczeskim, zlokalizowany jest wypełniony brunatnowęglowymi osadami neogeńskimi tzw. basen Mostu. Osady starsze od kenozoiku występują w nim blisko powierzchni terenu. W przypadku części z nich uzasadnione jest stosowanie terminu skały trudnourabialne. Są to prekambryjskie gnejsy i karbońskie ryolity, a także obecne bezpośrednio w pobliżu pokładów węgla oligoceńskie bazaltoidy (bazalty, tefryty, fonolity), a także ich zwietrzelina. Sposób ich zalegania sprawia, że znajdują się one w strefie eksploatacji węgla brunatnego (M. Widera 2021).

W słoweńskim złożu Velenje węgiel brunatny jest eksploatowany systemem podziemnym. Stąd też problemy związane zarówno z udostępnieniem złoża, jak i samą eksploatacją są bardzo nabrzmiałe. W podłożu nagromadzenia występują oligoceńsko-mioceniczne andezyty. Natomiast w stropie eksploatowanego pokładu węglowego zalegają plioceniczne margle jeziorne (M. Widera 2021).

Skały trudnourabialne obecne są także w słowackim złożu Handlova położonym na zachód od Kremnicy. Osady węglonośne przykrywają andezyty i tufy. Z kolei pokłady węgla brunatnego poprzerastane są żyłami bazaltu.

Węgiel brunatny w Niemczech jest wydobywany w trzech zagłębiach: łużyckim, środkowoniemieckim oraz dolnoreńskim. Dzięki prowadzonej od ponad półtora wieku w tych rejonach eksploatacji węgla litostratygrafia osadów kenozoicznych została dobrze poznana. Zgromadzono również wiele informacji na temat skał trudnourabialnych. Przykładowo, w zagłębiu łużyckim do skał trudnourabialnych zaliczane są piaskowce krzemionkowe, w obrębie których spotykane są częściowo zlityfikowane pliocenские piaski i żwiry zawierające oolitowe okruchy wapieni jurajskich. Zalegają one w formie ław i soczew. Posiadają brązowe i białawe zabarwienie. Ich nagromadzenia mają miąższość dochodzącą do kilkudziesięciu metrów. Najczęściej spotyka się je pod pokładami węgla. Kubatura tych osadów może dochodzić do 100 m³. W obrębie kolejnych ław można zauważyć zmianę twardości skał wynikającą z ich zróżnicowania litologicznego. Spąg i strop tych utworów mogą przebiegać nieregularnie. Ich barwa, a zwłaszcza twardość, wyraźnie różni je od dominujących w profilu litostratygraficznym złóż tego zagłębia osadów ilasto-piaszczystych i węgla brunatnego.

Problem utworów trudnourabialnych znany jest też w przypadku greckiej kopalni South Field. W nadkładzie węgla brunatnego zalegają zaliczane do trudnourabialnych piaskowce i zlepieńce. Obecność tych kopalin wymaga zbierania rocznie około 30 mln m³ tego typu skał (Z. Kasztelewicz i in. 2013).

O skałach zwięzłych obecnych w hinduskim złożu węgla brunatnego Bardingsar wspominają J. Bojczuk i A. Bajcar (2007). Wysoki stopień ich trudnej urabialności komplikuje proces wydobywczy. Stąd też w celu rozluźnienia ich struktury stosowane są roboty strzałowe z wykorzystaniem materiałów wybuchowych.

3. Litologia i geologiczne warunki zalegania skał trudnourabialnych w złożu Bełchatów

3.1. Wprowadzenie

Przedmiotem zainteresowania w tej pracy są głazy narzutowe, krzemienista pospółka żwirowo-piaszczysta (bruki krzemienne), piaskowce i zlepieńce krzemionkowe oraz wapienie mezozoiczne. Uwzględniono także piaskowce żelaziste, margle, gezy, opoki, arenity i waki. Odmiany te spotyka się w obydwóch polach złoża Bełchatów, tj. Bełchatów i Szczerców. Na przykładzie tych wielokopalinowych pól złożowych starano się uzasadnić konieczność realizacji:

- dokumentowania wszystkich odmian kopalin w złożu;
- sformułowania zasad, których wykonanie umożliwiłaby powstanie koncesji wielosuwcowej.

Taki sposób postępowania mógłby zarówno stanowić podstawę, jak i zagwarantować kompleksowe i racjonalne wykorzystanie wszystkich odmian kopalin występujących w złożu. Byłoby to szansą na spełnienie jednego z podstawowych kanonów geologii i górnictwa, a mianowicie, że kompleksowe wykorzystanie kopalin zwiększa ekonomiczną efektywność prowadzonej działalności gospodarczej. Problem ten jest szczególnie ważny w górnictwie odkrywkowym, gdzie bardzo często eksploatowane są złoża wielokopalinowe.

Decyzja o realizacji celów tej pracy, ograniczająca się tylko do skał trudnourabialnych, wynikała m.in. stąd, że aktualnie stanowią one jedyne selektywnie eksploatowane skały, które są szeroko wykorzystywane zarówno przez kopalnię, jak i kierowane do odbiorców zewnętrznych. Dlatego w pracy zgromadzono wyniki dotychczasowych badań geologiczno-złożowo-surowcowych realizowanych od dziesiątków lat. Do tej pory wykonane prace badawcze, zmierzające do ustalenia geologiczno-górnich warunków zalegania, określenia zasobów i rozpoznania właściwości surowcowych, nie są satysfakcjonujące w kontekście formalno-prawnego traktowania tych skał jako kopalin towarzyszących. Ta negatywna ocena stała się podstawą do sformułowania celów tej pracy. Uznano, że zmian w podejściu do problemu eksploatacji i wykorzystania kopalin niewęglowych towarzyszących pokładom węgla bru-

natnego należy upatrywać w dokumentowaniu wielosurowcowym, które powinno dotyczyć wszystkich odmian kopalin występujących w złożu.

Dokumentowanie obecności skał trudnourabialnych w górotworze brunatnowęglowym, tj. w złożu Bełchatów, należy do codziennych, a przy tym bardzo ważnych obowiązków służby geologicznej kopalni. Stwierdzone ich występowanie jest każdorazowo nanoszone na mapy górniczo-geodezyjne, tzw. sztygarki. Na bieżąco prowadzone są też prace kartograficzne zmierzające do rozpoznania geologiczno-górnich warunków ich zalegania. Stwierdzone wystąpienia skał trudnourabialnych są również opróbowywane w celu określenia charakteru petrograficznego, składu mineralnego i chemicznego oraz właściwości surowcowych. Rezultaty badań są z kolei wykorzystywane dla poznania mechanizmów genetycznych ich powstania i co tym idzie, do określenia przesłanek mogących wskazać możliwe rejony złoża szczególnie predysponowane do ich występowania.

Dokonując charakterystyki skał trudnourabialnych nie pominęto właściwości surowcowych tych skał i związanych z tym kierunków ich wykorzystania. Poza produkcją kruszywa mineralnego zwrócono również uwagę na inne możliwości ich zagospodarowania. Praca ta nabrała przez to charakteru monografii dotyczącej skał trudnourabialnych występujących w złożu Bełchatów. Taki sposób realizacji celów prezentowanej monografii wychodzi też naprzeciw fundamentalnemu pytaniu, czy obecność skał trudnourabialnych stanowi problem eksploatacyjny czy surowcowy.

3.2. Głazy narzutowe

3.2.1. Charakter litologiczny

Morfologia terenu na obszarze złoża węgla brunatnego Bełchatów została ukształtowana w czasie młodszego ze zlodowaceń środkowopolskich, tj. Warty. Śladami tego zlodowacenia są wały moren czołowych oraz liczne ozy. Również zlodowacenie Wisły (północnopolskie, bałtyckie) odcisnęło swoje piętno na ukształtowaniu tego terenu, kiedy uformowane zostały liczne wydmy paraboliczne zlokalizowane w północnym otoczeniu złoża.

Osady czwartorzędowe, powstałe w wyniku kolejnych zlodowaceń, spotyka się na całym obszarze złoża Bełchatów. Posiadają one zmienną miąższość, a największą w rejonach lokalnych rynien subglacialnych. Litologicznie utwory czwartorzędu są dość zróżnicowane. Reprezentują go osady: piaszczyste i żwirowe, głazy narzutowe, gliny glacialne, ily i mulki zastoiskowe, utwory organogeniczne (torfy).

Do grupy skał trudnourabialnych pretendują w tym przypadku głazy narzutowe. Są to fragmenty skał o znacznej masie i rozmiarach, przetransportowane przez lądolód skandynawski w czasie kolejnych zlodowaceń. Głazy te mają obły kształt, zbliżony do owalnego, oraz

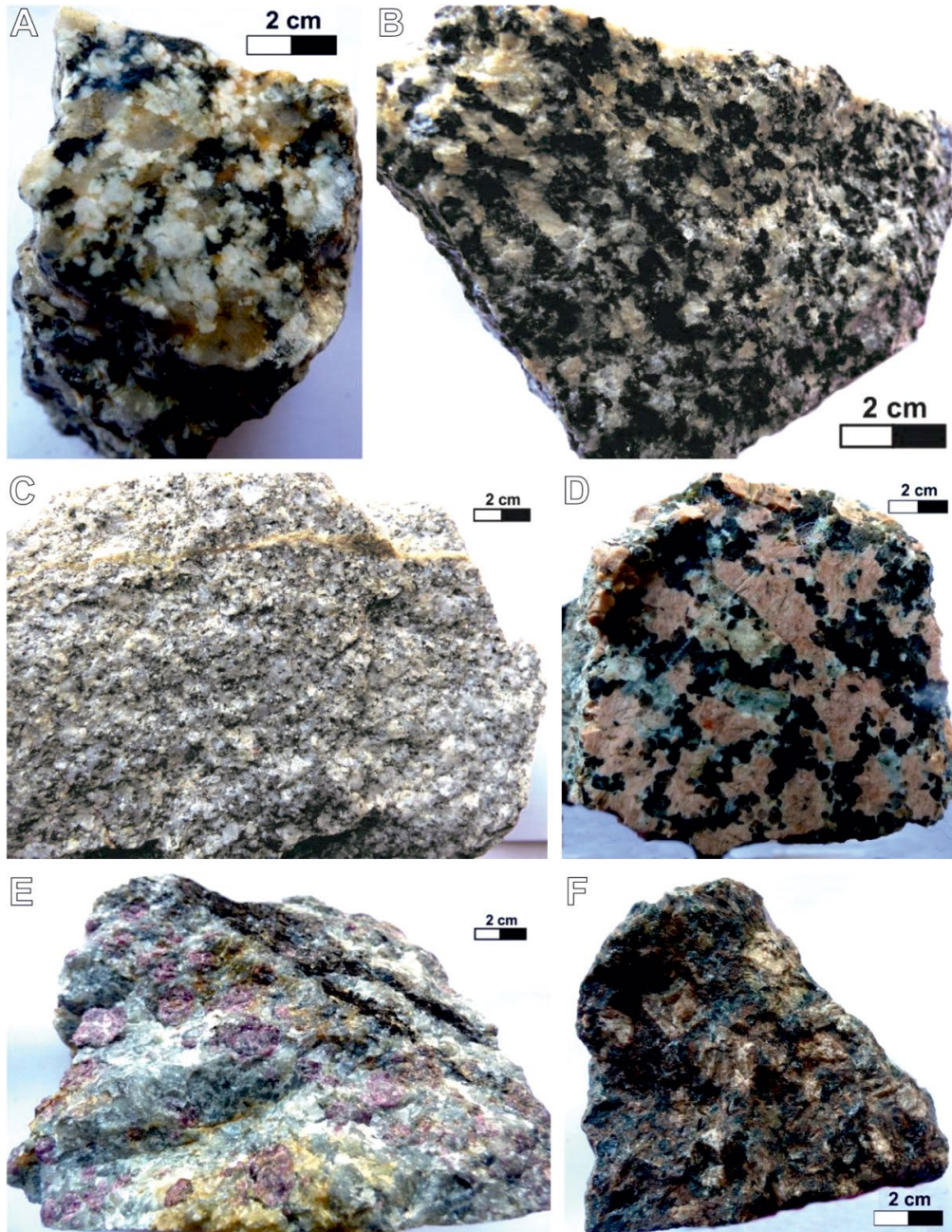
zmienną wielkość i skład petrograficzny (fot. 3.1). Średnica najmniejszych spośród nich wynosi kilkadziesiąt centymetrów. Z kolei największe osiągają rozmiary dochodzące do 10 m³ i masę do nawet ponad 30 Mg. Część z nich jest wyraźnie spękana, na powierzchni innych widoczne są oznaki procesów wietrzenia. Jedna ze ścian głazów jest niekiedy płaska i nosi nazwę wyglądu glacialnego, który został utworzony podczas przemieszczania się lądolodu w wyniku tarcia (detersji) o podłoże mineralne. Na wyglądzie można zauważyć rysy lodowcowe przyjmujące kształt niemal równoległych bruzd. Część głazów narzutowych nosi ślady procesów eksfoliacji, prowadzącej do ich dezintegracji mechanicznej.



Fot. 3.1. Głazy narzutowe, pochodzące z bieżącej eksploatacji, zgromadzone na II poziomie eksploatacyjnym Pola Szczerców

Głazy narzutowe zalegają w sposób rozproszony, zazwyczaj wśród glin lodowcowych. Występują one zarówno w postaci pojedynczych osobników, jak i ich nagromadzeń zwanych rumowiskami. Spotyka się wśród nich głównie skały magmowe i metamorficzne (fot. 3.2). Skały osadowe występują sporadycznie, co zapewne związane jest z ich mniejszą odpornością na działanie czynników wietrzenia fizycznego. Stanowią one niecałe 2% wszystkich głazów narzutowych.

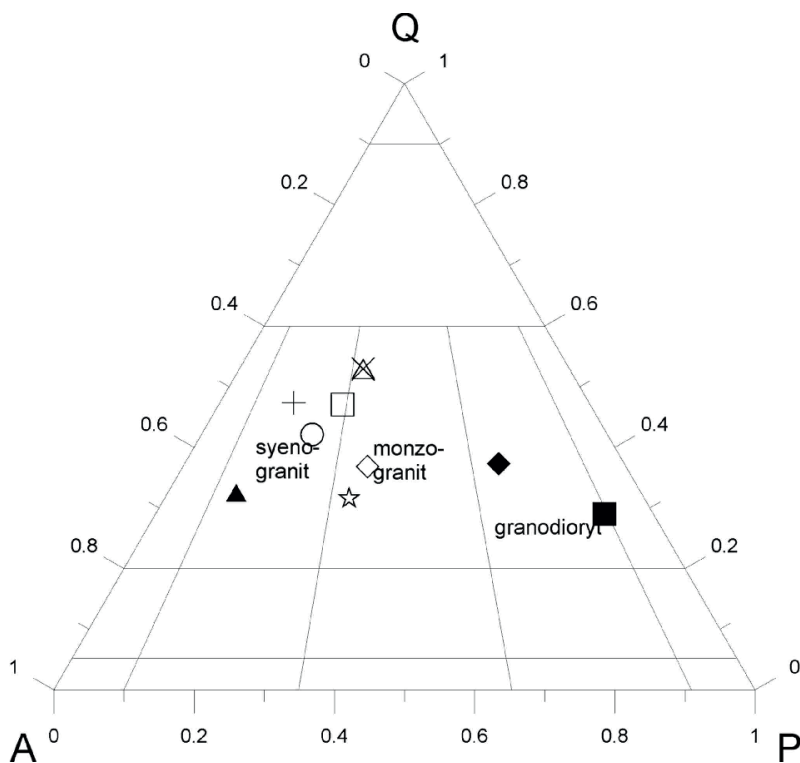
Problematyczne w przypadku tych skał trudnourabialnych jest ich nazewnictwo. Określa się je mianem bloków, głazów lub kamieni. W klasyfikacjach granulometrycznych możemy je zaliczyć do frakcji kamienistej ($75 < d \leq 200$ mm), głazowej ($200 < d \leq 600$ mm) oraz blokowej ($d > 600$ mm) (Klasyfikacja uziarnienia... 2009).



Fot. 3.2. Głazy narzutowe – skały magmowe

Objaśnienia: A – monzogranit, B – granodioryt, C – granit, D – granit alkaliczno-skalienny,
E – pegmatyt z granatami, F – porfir kwarcowy (ryolit)

Dominującą odmianą głązów narzutowych są skały magmowe. Skały te charakteryzuje zmienne zabarwienie. Przeważają głązy o barwie jasnoszarej. Spotyka się także okazy różowo-szare i czerwono-szare, w przypadku których kolorystyka jest podkreślona obecnością skalenia zasobnych w żelazo. Reprezentowane są one przede wszystkim przez granitoidy. Najliczniej występują wśród nich monzogranity, sienogranity i granodioryty oraz granity alkaliczno-skaliowe (rys. 3.1). Są to skały o teksturze masywnej, bezładnej i strukturze zazwyczaj grubo- i średniokrystalicznej rzadziej drobnokrystalicznej i porfirowatej. W ich obrębie licznie obecne są nieciągłości, spękania tektoniczne wypełnione mineralizacją wtórną.



Rys. 3.1. Skład mineralny głązów narzutowych zasobnych w kwarc na tle klasyfikacji kwaśnych skał magmowych. Objasnienia: A – skalenie alkaliczne, P – plagioklasy, Q – kwarc

Część głązów narzutowych to pegmatyty, odznaczające się różnokrystaliczną strukturą z wyraźną tendencją do przechodzenia w grubokrystaliczną. Częstym składnikiem pegmatytów są granaty o charakterystycznej ciemnoczerwonej barwie (fot. 3.2E). Ich zawartość może dochodzić nawet do 25–30%. Kryształy granatu mają zazwyczaj zaokrąglony kształt oraz są

silnie spękane i poprzerastane minerałami kruszczowymi. Wielkość kryształów granatów jest zróżnicowana i waha się od ok. 1 mm do nawet 20 mm. Spośród skał wulkanicznych stwierdzono porfiry kwarcowe (fot. 3.2F).

3.2.2. Geologiczne warunki zalegania

Obecność gładów narzutowych w utworach czwartorzędowych złoża węgla brunatnego Bełchatów jest bardzo trudna do prognozowania. Wynika to z nieprzewidywalnych warunków ich zalegania. W przypadku złoża Bełchatów nie można było skorzystać z doświadczeń zdobytych ze złóż w rejonie Turek–Konin, gdzie również w obrębie skał nadkładu występują nagromadzenia gładów narzutowych. W latach 90. ubiegłego wieku, na podstawie metodyki zaproponowanej przez COB-P Górnictwo Odkrywkowe POLTEGOR, dokonano tam m.in. próby oszacowania ich zasobów oraz opracowano koncepcje ich eksploatacji i zagospodarowania.

3.2.3. Kierunki i możliwości surowcowego wykorzystania

Aktualnie głównym kierunkiem wykorzystania gładów narzutowych ze złoża Bełchatów jest produkcja kruszywa łamanego na potrzeby drogownictwa (podbudowa dróg, placów manewrowych i technologicznych), a także budownictwa mieszkalnego. W praktyce takie kierunki wykorzystania stymulują potrzebę oznaczenia stopnia urabialności kolejnych odmian litologicznych gładów. Jest to problem skomplikowany, gdyż utrudnia go zarówno sposób zalegania tych kopalin, jak i wspomniany charakter litologiczny. Przybierają one jak wiadomo formę oddzielnych, odseparowanych gładów o zróżnicowanej twardości.

Zainteresowanie surowcowe gładami narzutowymi ze złoża Bełchatów sięga początków lat 80. ubiegłego wieku (K. Adamczyk i in. 2012a). Okazało się, że część tych kopalin stanowi dobrej jakości materiał kamieniarski. Po przecięciu i wypolerowaniu mogą one służyć jako:

- płyty okładzinowe i podłogowe o zróżnicowanych wymiarach i kolorystyce w celu wykorzystania do elewacji zewnętrznej i wewnętrznej budynków;
- płyty nagrobkowe, parapety, blaty kuchenne, kamienie posadzkowe. O takim kierunku wykorzystania decydowała ich bogata i urozmaicona kolorystyka. W pierwszej kolejności dotyczyło to gnejsów, a także granitów i pegmatytów, w których barwa związana jest z obecnością wspomnianych dużych, czerwono zabarwionych skałeni.

Wymienione kierunki wykorzystania gładów nie zawsze mogą być realizowane. Część spośród nich w procesie cięcia i szlifowania ulega pękaniu, przez co nie nadają się do otrzymywania z nich płyt nagrobkowych, wykładzinowych itd.

Niektóre z gładów odznaczają się niewątpliwą wartością estetyczną. Dlatego mogą one być wykorzystywane w stanie naturalnym jako pomniki i postumenty, a także w architekturze krajobrazu ze względu na rozmiary, interesujący kształt, zachowane na ich powierzchni wyglądy i rysy lodowcowe. Takie gładzi narzutowe były/są używane jako lapidaria i obiekty dydaktyczne z uwagi na ich charakterystyczne cechy budowy petrograficznej i urozmaicony skład mineralny.

Mając na uwadze zarówno typy skał reprezentowane przez gładzi narzutowe, ich skład mineralny, stan zachowania minerałów oraz indywidulane cechy strukturalno-teksturalne mogą być wykorzystywane w formie skruszonej jako:

- wysokiej jakości kruszywa grube łamane (różne frakcje z zakresu 2–31,5 mm);
- kruszywa drobne łamane (frakcja z przedziału 0–2 mm);
- kamień łamany (frakcja w zakresie 60–250 mm).

Takie kruszywa znajdują zastosowanie do budowy ścieżek ogrodowych i parkowych, rabatów kwiatnych, a także jako kamienie do gabionów. Powstające w trakcie kruszenia pyły (< 0,1 mm) są predysponowane do wykorzystania w przemyśle ceramicznym jako surowiec schudzający, względnie skaleniuowo-kwarcowy (nośnik alkaliów).

Różnorodne możliwości wykorzystania gładów narzutowych sprawiły, że od samego początku stanowią duże zainteresowanie wśród odbiorców zewnętrznych. Przykładowo, w 1988 r. wydobyto około 14 tys. Mg gładów, z czego niemal 1 tys. Mg wyeksportowano do Niemiec. Natomiast realizowane prace zmierzające do określenia właściwości surowcowych kruszywa wykazały, że mogą być one wykorzystane jako materiał do:

- budowy przesłon filtracyjnych i drenażowych służących odwadnianiu;
- produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych;
- wytwarzania betonów, w tym odmian o wysokiej wytrzymałości zarówno na ściskanie, jak i na ścieranie.

3.3. Pospółka piaszczysto-żwirowa, tzw. bruki krzemienne

3.3.1. Wstęp

Historia „surowcowa” tej odmiany skał trudnourabialnych, obecnych w złożu węgla brunatnego Bełchatów sięga 1964 r. Zostały one wówczas wymienione w „Kompleksowej dokumentacji geologicznej...”. Podano także szacunkowe zasoby bruków krzemiennych, które w całym złożu miały wynosić 2,5 mln Mg. Oznaczało to, że na etapie dokumentowania złoża, pomimo braku precyzyjnie zdefiniowanych kryteriów służących systematycznemu dokumentowaniu ich obecności w profilach wiertniczych, została podjęta próba rozpoznania ich obecności. W tym czasie bruki krzemienne często nawiercano bezrzedniowo, przez co opisy

litologiczne generalizowano czy nawet mylnie rozpoznawano. W przyszłości stało się to poważnym utrudnieniem podczas podejmowanych prób lokalizacji tego typu kopalin w złożu (R. Frankowski i in. 2005).

W kalendarium dotyczącym historii dokumentowania i zagospodarowania bruków krzemiennych można odnotować jeszcze inne ważne daty. Według K. Adamczyk i in. (2012a) są to:

- 1977 r. – oszacowano przydatność bruków krzemiennych dla budownictwa;
- 1989 r. – rozpoczęto ich eksploatację i zagospodarowanie;
- 2003 r. – wyeksploatowane bruki z Pola Szczerców zaczęto gromadzić na złożu wtórnym.

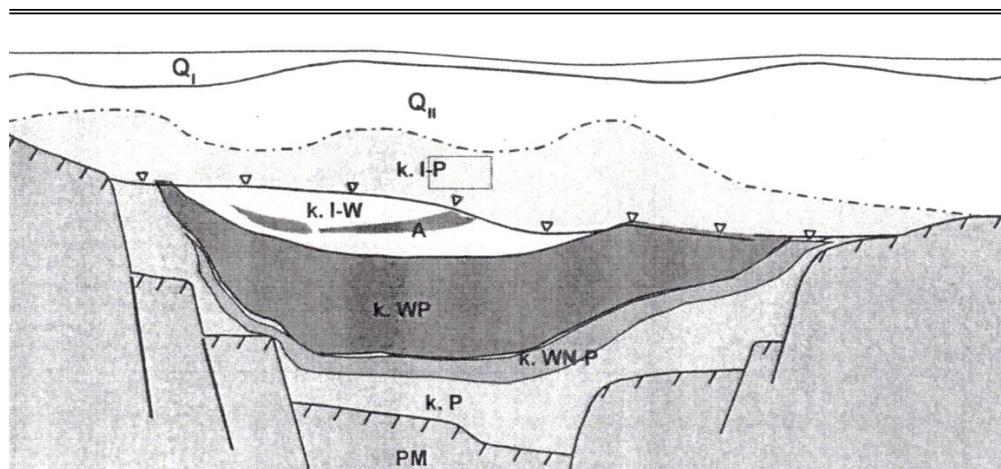
Według W.M. Jończyka i in. (2003) rolę i znaczenie bruków krzemiennych należy rozpatrywać w trzech aspektach:

- stanowią one charakterystyczny, reperowy poziom w profilu litostratygraficznym złoża;
- powodują utrudnienia w prowadzeniu robót górniczych;
- reprezentują odmianę kopalin pretendującą do miana towarzyszących.

3.3.2. Charakter litologiczny i wiek

Ten typ skał trudnourabialnych znany ze złoża Bełchatów określany jest jako środkowioceński utwór gruboklastyczny. Bruki krzemienne zalegają w spągowej części kompleksu ilasto-piaszczystego (rys. 1.3). Wśród sedymentów nadkładu wyznaczają one granicę erozyjną, tzw. powierzchnię mycia. Zalegają one niezgodnie na niżej leżących utworach kompleksów ilasto-węglowego i węglowego. Znane są również miejsca, w których bruki przykrywają osady zaliczane do kompleksu podwęglowego. Natomiast przy krawędziach rowu Kleszczowa zdarza się, że wspomniana powierzchnia mycia zalega bezpośrednio w stropie podłoża mezozoicznego.

Sposób nagromadzenia osadów tworzących powierzchnię mycia wykazuje niezgodność kątową z podścielającymi sedymentami. Jej obecność stanowi efekt przerw, które następowały w procesach akumulacji nadkładu, czyli erozji. Bruki krzemienne powstały zatem w rezultacie procesów związanych z działalnością wód płynących, selekcją materiału i jego depozycją. Długość przerw nie jest określona jednoznacznie. Według jednych źródeł, m.in. M. Baraniecka (1970), była ona krótka i związana z działalnością lokalnych, silnych przepływów wód. W wyniku tego nagromadzone zostały sedymenty stanowiące residuum osadów rzecznych. Zdaniem innych autorów, np. R. Wilczyńskiego (1992), przerwa w sedimentacji trwała znacznie dłużej (kilka milionów lat), a bruki pojawiły się jako efekt działalności wód rzecznych przepływających wzdłuż rowu Kleszczowa. Jeszcze inni autorzy, m.in. E. Ciuk (1974), uważają, że nagromadzenie bruków krzemiennych nastąpiło w fazie wypełniania rowu Kleszczowa osadami neogeńskimi.



**Rys. 3.2. Pozycja powierzchni mycia w obrębie osadów trzeciorzędu w Polu Szczerców
(wg. R. Frankowski i in. 2005b)**

Objaśnienia: Q_I – górne piętro strukturalne czwrtorzędu; Q_{II} – dolne piętro strukturalne czwrtorzędu;
k. I-P – kompleks ilasto-piaszczysty; k. I-W – kompleks ilasto-piaszczysty; A – pokład węgla A;
k. WP – kompleks węglowy produktywny; k. WN-P – kompleks węglowy nieproduktywny;
k. P – kompleks podwęglowy; PM – podłoże mezozoiczne

Bruki krzemienne zbudowane są z materiału skalnego o frakcji żwirowo-piaszczystej. Są to w przewadze czarne lub szaroczarne otoczaki krzemieni dochodzące do 20 cm średnicy. Zazwyczaj mają one zaokrąglone krawędzie i naroża. Ich ściany są zazwyczaj gładkie, rzadziej chropowate z zaznaczonymi śladami korozji. Część tych otoczków „otula” brunatno-rdzawa pokrywa żelazista stanowiąca polewę wietrzeniową. Wśród bruków stwierdzono też obecność krzemieni pasiastych. Niektóre z nich po rozbiciu ujawniają w swym wnętrzu pustki przybierające formy geod wypełnionych krystalicznym kwarcem. Oprócz otoczków krzemieni skały te tworzą czerty, rzadziej piaskowce. R. Frankowski i in. (2005) w przypadku głównego składnika petrograficznego bruków użyli terminu „frakcja gruba”. Według tych autorów tworzą ją właśnie otoczaki krzemieni oraz niezidentyfikowane petrograficznie „czarne kamienie”. Podrzednym składnikiem tych osadów są okruchy wapieni. Pochodzą one zapewne ze skał, z których zbudowane są obrzeżenia rowu Kleszczowa. Część z nich jest zsylikowana. Spotyka się także wśród bruków skrzemieniałe fragmenty drzew.

W opracowaniach dotyczących charakteru granulometrycznego bruków krzemiennych, obok terminu otoczaki, stosowane są zamiennie takie nazwy: odłamki, konkrecje, bryły i butły. W skałach tych obok składników gruboklastycznych występują także elementy reprezentujące frakcję psamitową czy nawet aleurytową, a stanowią je głównie ziarna kwarcu. Materiał okrucowy tych bruków może być bardziej lub mniej spoisty. Lepiszczce stanowi substancja krzemionkowo-żelazista. W efekcie tego lokalnie tworzą się lite pokrywy o charakterze zlepieńców. Inną osobliwością jest fakt, że domieszki związków żelaza powodują pojawienie się osadów o cechach „brudnych żwirów”.

Ilościowe badania składu petrograficznego bruków krzemiennych wykazały, że okruchy skał krzemionkowych występują w ilościach od 15 do 32% obj. Jeszcze bardziej liczne są ziarna kwarcu, które stanowią 14–69% obj. Okruchy krzemionkowo-ilasto-wapienne występują w ilości do 15% obj. W podobnej ilości można spotkać okruchy wapienne. Wynika stąd, że ilościowy skład petrograficzny tej grupy skał jest bardzo zróżnicowany.

Z kolei badania chemiczne wykazały, że omawiana odmiana skał trudnourabialnych ma charakter wybitnie krzemionkowy. Sądzić tak można na podstawie stwierdzonych ilości SiO_2 . Wspomniana obecność „brudnych żwirów” powoduje dodatkowo lokalne zwiększenie obecności połączeń żelaza, które średnio mieści się w przedziale od 0,1 do 0,2% wag. osadu/skały. Niewielka jest również ich wapnistość, co potwierdza zawartość CaCO_3 obejmująca przedział od 3,5 do 4% wag.

3.3.3. Geologiczne warunki zalegania

Bruki krzemienne są odmianą skał trudnourabialnych często spotykaną w złożu węgla brunatnego Bełchatów. Zarówno powszechność ich występowania, jak i złożone geologiczno-górnice warunki zalegania są lub mogą być poważnym utrudnieniem w eksploatacji. W zagadnieniach tych, poza określeniem stopnia trudnej urabialności tych skał, ważne jest ustalenie ich lokalizacji w górotworze brunatnowęglowym. W związku z tym służby geologiczne kopalni od lat prowadzą systematyczne obserwacje terenowe.

Nagromadzenia bruków krzemiennych przybierają różne formy. Są to wyklinowujące się warstwy, soczewy, a także gniazdowe wypełnienia w zaburzeniach głacictektonicznych (W. Jończyk i in. 2003; R. Frankowski i in. 2005). Ich wystąpienia mają zmienną miąższość wahającą się od kilkudziesięciu centymetrów do ponad 20 m. Przy czym przeciętna grubość pokładowych czy soczewkowatych nagromadzeń mieści się w przedziale od 1,5 do 2 m. Przewarstwiają je niekiedy liczne laminy i soczewki piasków, mułków czy iłów.

Rozwiązywaniem zagadnień geologiczno-złożowych umożliwiających prognozowanie miejsc zalegania tej odmiany skał trudnourabialnych, poza służbami geologicznymi kopalni, zajmowały się także geologiczne przedsiębiorstwa naukowo-badawcze POLTEGOR i PRO-GIG. Działania te podejmowano zarówno w skali całego złoża, jak i pól złożowych czy nawet poziomów eksploatacyjnych. Wykorzystywano w tym celu dotychczasowy, tradycyjny sposób obrazowania budowy złoża, tzn. profile wiertnicze, przekroje geologiczne i izoliniowe (strukturalne) mapy spągu lub stropu. Pomocne okazały się informacje zgromadzone w Jednolitej Bazie Danych Geologicznych (JBDG).

Przedsiębiorstwo POLTEGOR zrealizowało opracowanie, pt. „Analiza występowania gruntów trudnourabialnych w nadkładzie, w rejonie linii 87-80 NS” (1985). Rezultaty prowadzonych na potrzeby opracowania badań pozwoliły wydzielić obszary, w których można było spodziewać się obecności bruków. W obrębie Pola Bełchatów w ten sposób wytypowano pięć

takich rejonów. Nie wykluczono obecności tych kopalin w otulinie wysadu solnego Dębina. Analiza charakteru ich wystąpień pozwoliła wstępnie ocenić wpływ neotektoniki na ich rejonizację. Wyniki tych prac były dodatkowo wykorzystywane dla lokalizacji studni odwadniających, a przede wszystkim otworów obserwacyjnych umożliwiających dalsze badania tego typu skał. Oszacowano też wstępnie ich zasoby. Kubatura bruków krzemiennych w obrębie rejonów z wytypowaną lokalizacją miała wynosić ponad 10 mln m³, a w przypadku całego złoża ponad 54 mln m³.

Celem prac przeprowadzonych przez POLTEGOR i PROGIG było opracowanie podstaw do geologicznego dokumentowania tych kopalin. Rezultaty okazały się niekompletne. Dalej nie dysponowano informacjami, dzięki którym mogłaby powstać taka dokumentacja, w której bruki krzemienne pretendowałyby do miana kopalin towarzyszących. Niemniej jednak zdaniem badaczy z tych przedsiębiorstw, a także R. Frankowskiego i in. (2005), zarówno przydatność surowcowa, jak i rodzaj potencjalnie uzyskiwanych wyrobów uzasadnia stosowanie terminu kopalina towarzysząca. Również W. Jończyk i in. (2003) uważali, że jeśli geologiczno-górnice warunki zalegania tych kopalin pozwalają na ich eksploatację, to bruki krzemienne mogą być traktowane jako kopalina towarzysząca. Autorzy ci zwracają uwagę na potrzebę ich selektywnej eksploatacji.

W styczniu 2004 r. kopalnia rozpoczęła współpracę z firmą MINCOM. Jej celem było stworzenie spójnego, przestrzennego modelu złoża, jego struktury, litostratygrafii i charakteru surowcowego kopalin. Dodatkowo model ten miał zapewnić możliwość szybkiej aktualizacji danych (R. Frankowski i in. 2005). Dało to szansę wizualizacji powierzchni mycia związanej z obecnością bruków zarówno w obrębie złoża, kolejnych pól złożowych, jak i poszczególnych poziomów eksploatacyjnych. Digitalizacja całości dostępnych danych (pozyskanych z JBDG) umożliwiła optymalne wykorzystanie kompletu informacji na temat kopaliny, a także zapewniła ich bieżącą aktualizację. W ten sposób skorygowano przebieg powierzchni mycia i wskazano trzy potencjalne rejony wystąpienia bruków krzemiennych w złożu Bełchatów:

- leżący bezpośrednio na podłożu mezozoicznym;
- zlokalizowany w stropie kompleksu ilasto-węglowego, węglowego bądź powęglowego;
- spotykany w miejscach, gdzie późniejsza erozja na kontakcie czwartorzęd/neogen sięgnęła głębiej niż powierzchnia mycia.

Graficzną ilustrację przebiegu powierzchni mycia przez złoże Bełchatów, uzyskaną dzięki tej technice, przedstawili R. Frankowski i in. (2005). Również ci sami autorzy przedstawili zasięg zalegania bruków krzemiennych na tle pięter eksploatacyjnych Pola Szczerców. Wyniki ich prac pozwoliły stwierdzić, że w chwili ich prowadzenia bruki krzemienne zalegały od drugiego do siódmego piętra eksploatacyjnego. Jednak główne ich nagromadzenie znajdowało się w obrębie pięter czwartego i piątego (R. Frankowski i in. 2005).

Rezultaty prac przeprowadzonych przez PROGIG (2007) pozwoliły na określenie przebiegu powierzchni mycia w obrębie Pola Szczerców. Wykazano, że jest ona powiązana z cha-

rakterem litologicznym i formą strukturalną osadów zalegających w jej stropie i w spągu. W efekcie wyinterpretowano model strukturalny nagromadzenia bruków krzemiennych w obrębie osadów neogeńskich tego pola złożowego i pozycję powierzchni mycia w profilu litostratygraficznym.

Celem tych analiz było też opracowanie map izoliniowych stropu i spągu bruków krzemiennych przy pomocy programu komputerowego MineScape oraz wyliczenia ich szacunkowych zasobów. Pracami tymi objęta została część Pola Szczerców, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów przeznaczonych pod przyszłą eksploatację tych kopalin. Ponadto zweryfikowano dane dotyczące położenia i przebiegu powierzchni erozyjnej (powierzchni mycia) z brukami krzemiennymi.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że w objętych pracami partiach Pola Szczerców bruki krzemienne zalegają w dwóch rejonach. Założono, że obecne w nich kopaliny mogą być przedmiotem eksploatacji i surowcowego wykorzystania. Dokonano także oceny zasobów bruków w granicach wspomnianych rejonów, które wytypowano pod przyszłą eksploatację. Wyniosły one 8,1 mln m³, natomiast w całym Polu Szczerców oceniono je na 14,5 mln m³.

3.3.4. Możliwości i kierunki wykorzystania surowcowego

Bruki krzemienne są kopaliną predysponowaną do produkcji kruszywa. Jest to o tyle zastanawiające, że w trakcie kwerendy prac naukowych i opracowań archiwalnych dotyczących tej kopaliny nie natrafiono na omówienie ich właściwości surowcowych uzasadniający taki kierunek wykorzystania. W opracowaniu PROGIG-u (2007) podano jedynie niektóre ich właściwości surowcowe, a są to:

- zawartość tzw. frakcji głównej o uziarnieniu 20–200 mm wynosi 75% obj.;
- ścieralność w przypadku frakcji powyżej 60 mm mieści się w przedziale: 4–11% w młynie Los Angeles; 1,2–4,5% w bębnie Devala i 0,1–0,4% na tarczy Boehme-go;
- wytrzymałość na ściskanie to 2850–4270 kG/cm²;
- zwięźłość oznaczona metodą Page'a wynosi 32–42.

Podane wyżej wartości nie do końca rozsądzają o możliwości pozyskiwania z tych kopalin kruszywa. Procesy przeróbcze bruków krzemiennych, zmierzające do otrzymywania z nich kruszywa, obejmują proces uszlachetniania przez płukanie, sortowanie i kruszenie. Pierwotnie uzyskiwano z nich mieszanek wapienno-kwarcytowo-granitową. Istniała także możliwość wykorzystania ich w stanie surowym. Z czasem metody ich przeróbki dostosowano do potrzeb regulujących otrzymywanie nowych odmian kruszywa. Zaczęto wówczas wytwarzać osobno następujące odmiany kruszywa: wapienne, kwarcytowe i granitowe.

Poza produkcją kruszywa mineralnego bruki krzemienne budziły zainteresowanie surowcowe także z uwagi na możliwości wykorzystania ich w innych technologiach. Były nimi:

- stosowanie wypreparowanych otoczaków krzemiennych tzw. kulaków w charakterze mielników w młynach kulowych;
- jako surowca (substytutu bazaltu) do produkcji mas bitumicznych;
- przy wytwarzaniu posypki podczas produkcji papieru ściernego.

Podane kierunki umożliwiają kompleksowe wykorzystanie surowcowe bruków krzemienych, obejmując nie tylko ich naturalne nagromadzenia, ale i produkty powstałe w czasie przeróbki mechanicznej. Właściwości fizyko-mechaniczne tej odmiany skał trudnourabialnych pozwoliły uzyskać z nich kruszywo o wysokiej jakości. Zarówno ten fakt, jak i sprzyjające bardzo często geologiczno-górnice warunki zalegania sprawiły, że dało się zauważyć dominację pospółek wśród innych eksploatowanych skał nadkładu. W niektórych latach wydobycie bruków krzemienych przekraczało nawet 350 tys. Mg rocznie.

3.4. Piaskowce i zlepieńce krzemionkowe

3.4.1. Wstęp

W 1987 r. koparka zbierająca skały nadkładowe, reprezentujące kompleks ilasto-piaszczysty na poziomie III w Polu Bełchatów, natrafiła na odmianę skał diametralnie odbiegającą charakterem litologicznym, a także cechami fizyko-mechanicznymi od innych osadów w złożu. Sytuacja ta zaczęła się powtarzać, a skały te z uwagi na wspomnianą specyfikę, a zwłaszcza twardość, zaliczono do odmian trudnourabialnych. Wykazane z czasem nieznaczne rozmiary tych wystąpień powodowały, że ich obecność nie była ewidencjonowana i odnotowana na mapach pokładowych, jak również błędnie litologicznie interpretowana. Spowalniały one prace koparek i powodowały liczne komplikacje eksploatacyjne. Wynikało to m.in. z nieprzewidywalności miejsc ich zalegania. W związku z tym kopalnia rozpoczęła zakrojone na szeroką skalę prace dotyczące rozpoznania miejsc ich występowania.

W „kalendarium” historii dokumentowania i zagospodarowania kopalin towarzyszących w złożu Bełchatów można znaleźć informacje na temat dalszych losów tej kopaliny (K. Adamczyk i in. 2012a). Oto niektóre z nich:

- w 1996 r. zaczęto prowadzić selektywną ich eksploatację w Polu Bełchatów;
- w 2009 r. kopaliny te po raz pierwszy pojawiły się w Polu Szczerców;
- w 2010 r. na poziomie IV wyrobiska górniczego Pola Bełchatów stwierdzono występowanie soczew skał o miąższości ponad 3 m i rozciągłości kilkudziesięciu metrów. Z rejonu tego wyeksploatowano i wykorzystano ponad 2,6 tys. Mg tych kopalin;

- w 2011 r. ich występowanie stwierdzono w północno-zachodniej części wyrobiska górniczego Pola Bełchatów. Zasoby oszacowano na 190 tys. m³, z czego wydobyto około 4,7 tys. Mg.

Celem realizowanych badań było zdefiniowanie charakteru petrograficznego tych skał, zidentyfikowanie procesów prowadzących do ich pojawienia się w górotworze brunatnowęglowym, prognozowania miejsc i rejonów ich zalegania, a także przydatności praktycznej. Zamierzenia te chciano osiągnąć poprzez kartowanie geologiczne ich wystąpień, ustalenie warunków sedymentacji i charakteru geologicznego środowiska. Pod uwagę brano także wyniki analiz zmierzających do ustalenia warunków depozycji tych utworów. Analizowano również geometrię i kształt form sedymentacyjnych, charakter powierzchni depozycyjnych, obecność i rolę substancji organicznej. Z upływem czasu, kiedy stopień rozpoznania tych osadów uzasadniał możliwość zaliczenia ich do kopalin towarzyszących, zaczęto badać ich przydatność surowcową. Zaproponowano także procesy przerobcze umożliwiające szerszy zakres praktycznego wykorzystania omawianych skał trudnourabialnych.

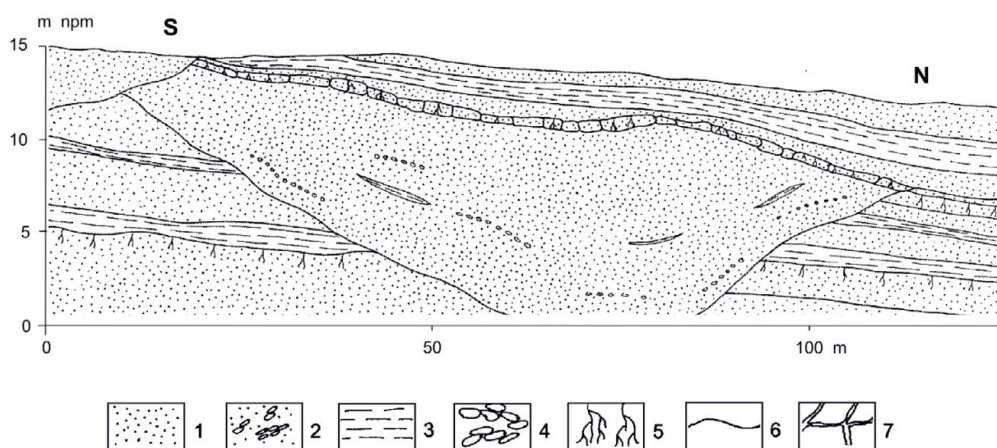
3.4.2. Charakter litologiczny

Próby makroskopowego rozpoznania charakteru petrograficznego tego typu osadów wskazują, że reprezentują one odmiany średnio- i grubookruchowe, tzn. piaskowce i zlepieńce. Ich zróżnicowane zabarwienie, a w szczególności pojawienie się odmian o odcieniach brązowych jest efektem obecności zmacerowanego pigmentu organicznego. Śladami działalności świata organicznego są także spotykane w nich pozostałości korzeni w pozycji wzrostu.

W kolejnych pokładach i soczewach tych utworów makroskopowo prześledzono zaawansowanie procesów lityfikacji. Ich środkowe partie wypełniały odmiany twarde i lite. Przy uderzeniu młotkiem geologicznym wydawały metaliczny dźwięk. Natomiast ku spągowi i stropowi, w wyniku zmienności facjalnej przechodząc w utwory ilasto-piaszczyste, stawały się mniej twarde, porowate, a nawet rozsypliwe. W skałach tych dostrzec można było ślady słabo zaznaczonego warstwowania przekątnego. Powiązane to było z ich przejściem w osady ilasto-piaszczyste czy horyzontalne nagromadzenia okruchów krzemieni.

K. Bahrnowski i in. (1997), na podstawie m.in. badań odsłonięć reprezentujących różne fragmenty profilu ilasto-piaszczystego pochodzącego z południowej części Pola Bełchatów, dokonali obserwacji zmierzających do ustalenia charakteru litologicznego tych skał i ich relacji z zarówno utworami podścielającymi, jak i nadległymi. Ilustruje to rysunek 3.3. Wykształcenie analizowanych profili jest bardzo zróżnicowane. W najniższej części, w spągu grubookruchowych, litych utworów zsylikowanych (zlepieńce) zalegają brązowawe, a wyżej nawet ciemnobrązowe słabo zsylikowane piaski. Widoczne są w nich ślady korzeni w pozycji wzrostu. Pod nimi na powierzchniach erozyjnych spoczywają początkowo czarne, a wyżej szaroczarne, miejscami plamiste, słabo wysortowane i zsylikowane

zlepieńce z otoczkami krzemieni dochodzącymi do 20 cm średnicy. Posiadały one częściowo kształty dyskoidalne, a ich dłuższe osie układały się jednokierunkowo. W odcinkach reprezentujących wyższą część profilu pojawiły się zsylikowane skały średniookruchowe (piaskowce). Ich barwa była zmienna, tj. jasnoszara w części spągowej, poprzez brązową, do prawie czarnej w stropie. Zauważono w nich również obecność korzeni roślin a nawet fragmenty ksyliotów, czyli uwęglonych innych fragmentów roślinności krzewiastej i drzewiastej o wielkości > 1 cm.



Rys. 3.3. Sposób zalegania zsylikowanych piaskowców i zlepieńców ze złoża węgla brunatnego Belchatów.

Odślonięcie w kompleksie ilasto-piaszczystym Pola Belchatów według Bahranowskiego i in. (1997)

Objaśnienia: 1 – piaskowce; 2 – piaskowce z otoczkami żwirowymi; 3 – ilowce; 4 – zlepieńce; 5 – korzenie roślin; 6 – powierzchnia erozyjna; 7 – oddzielność blokowa

Badania mikroskopowe wykazały, że szkielet ziarnowy piaskowców i zlepieńców tworzą głównie okruchy krzemieni, rzadziej wapieni czy piaskowców. Jego składnikiem są też różnoziarniste ziarna kwarcu, dominujące w piaskowcach. Mają one średnicę najczęściej < 2 mm, ale mogą dochodzić do 2 cm i wykazują obecność kawern korozyjnych. Spoiwo ma charakter kontaktowo-porowy. Zbudowane jest w przewadze z mikrokryształicznego kwarcu, a także chalcedonu i opalu. Te same badania pozwoliły stwierdzić pionową zmienność tych skał z uwagi na skład wspomnianych minerałów SiO_2 . W stropowych partiach pokładów lub soczew spotkać można odmiany piaskowców czy zlepieńców, których szkielety stanowiły ziarna kwarcu i okruchy krzemieni o zróżnicowanej wielkości. Zauważyć w nich można było obecność kawern korozyjnych świadczących o oddziaływaniu na materiał okruchowy procesów rozpuszczania. Środkowe partie pokładów to osady, w których spoiwo stanowiła głównie słabo przekryształizowana krzemionka, lokalnie z wyraźnymi tendencjami do przybierania form wykryształizowanych z widocznymi zarysami morfologicznymi. W efekcie tego

pojawiają się drobne, mikrokrystaliczne, autogeniczne ziarna kwarcu. Obecny jest również kwarc z obwódkami chalcedonowymi. W spągowych partiach zalegają natomiast skały charakteryzujące się obecnością spoiwa zbudowanego z mikrokrystalicznego kwarcu. W partiach tych spotyka się pojedyncze sferule zbudowane z opalu CT. Zarówno mikroskopowo, jak i rentgenograficznie wykazano w tych skałach obecność anatazu, a jego ilość oceniono nawet na 3% obj. (K. Bahranowski i in. 1997).

Wyniki badań z zastosowaniem mikroskopii optycznej, jak i katodoluminescencji pozwoliły prześledzić i zidentyfikować formy morfologiczne ziaren kwarcu obecne w tych skałach. Stwierdzono przewagę odmian kulistych. Rzadziej spotyka się formy elipsoidalne czy wrzecionowate. Zidentyfikowano również ziarna tego minerału z widocznymi wrostkami kryształów kwarcu, rzadziej muskowitu.

W przypadku badań składu fazowego piaskowców i zlepieńców krzemionkowych szczególną uwagę zwrócono na efekty procesów prowadzących do powstania różnych form morfologicznych minerałów grupy SiO_2 . Pozwoliły one wykazać, że przyjmują one następujące postacie:

- kryształów autogenicznych;
- chalcedonowych obwódek regeneracyjnych na ziarnach detrytycznego kwarcu;
- ziaren detrytycznych;
- lepisfer opalu.

3.4.3. Skład chemiczny

W tabeli 3.1 przedstawiono skład chemiczny piaskowcowej odmiany skał trudnourabialnych zalegających w kompleksie ilasto-piaszczystymi Pola Bełchatów podany przez K. Bahranowskiego i in. (1997). W tej odmianie skał wyraźnie dominuje SiO_2 , a obecność pozostałych składników jest niemal śladowa. Niska zawartość Al_2O_3 może świadczyć o zaawansowanym procesie rozkładu minerałów glinokrzemianowych zawartych w materiale macierzystym tych skał. Powstałe w ten sposób związki glinu zostały odprowadzone, efektem czego są wysokie wartości stosunku zawartości $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

3.4.4. Nazewnictwo i terminologia

Właściwe określenie charakteru petrograficznego odmian skał trudnourabialnych stało się możliwe dzięki badaniom mikroskopowym. Potrzeba wykonania tego typu analiz wynikała m.in. stąd, że w różnego rodzaju artykułach naukowych, opracowaniach archiwalnych czy dokumentacjach geologicznych do ich określenia używano różne terminy. Definiowane one były jako sylifikaty (R. Frankowski i E. Sośniak 2005) oraz piaski zsylikowane (W. Kozioł i in. 1994). W opracowaniach POLTEGORU z 1987 r. użyto nazwy „brekcje tektoniczne”. Ta

Tabela 3.1. Skład chemiczny neogeńskich piaskowców krzemionkowych wg K. Bahranowskiego i in. (1997)

Składnik	Zawartość (% wag.)
SiO ₂	95,4–98,1
TiO ₂	0,52–0,57
Al ₂ O ₃	0,17–0,30
Fe ₂ O ₃	0,10–0,14
CaO	0,20–0,25
MgO	0,02–0,05
MnO	Ślady
Na ₂ O	0,01–0,03
K ₂ O	0,02–0,04
Straty prażenia	1,55–3,25

ostatnia nazwa jest szczególnie nietrafna z uwagi na chociażby morfologię składników (ziarna są obtoczone, owalne lub kuliste). W innych opracowaniach określano je terminami grunty skaliste i gleby kopalne (R. Czarnecki 2005).

Rezultaty badań przeprowadzonych przez T. Ratajczaka i in. (2017) wykazały, że w przypadku tego typu skał trudnourabialnych mamy do czynienia ze związłymi osadowymi skałami okrucowymi. Wielkość ziaren wskazuje, że są to odmiany grubo- lub średniookrucowe. W przypadku pierwszych, z uwagi na morfologię ziaren (znaczny stopień obtoczenia), zaliczyć je można do zlepieńców. Natomiast w drugim przypadku są to piaskowce. Z uwagi na charakter spoiwa, które stanowią minerały grupy SiO₂ w różnym stopniu przekrystalizowane, mogą zostać użyte określenia krzemionkowe, kwarcowe, zsylikowane czy nawet kwarcytowe. Charakter petrograficznych tych osadów najtrafniej wydaje się oddawać nazwa „piaskowce i zlepieńce krzemionkowe”. O członie „krzemionkowe” przesądza stopień przemian jakim została poddana krzemionka stanowiąca składnik spoiwa. Procesy związane z transformacją SiO₂ nie były zaawansowane. Stwierdzono obecność opalu i chalcedonu. Stosowanie terminów kwarcowe czy kwarcytowe mogłoby sugerować obecności spoiwa zbudowanego jedynie z kryształów kwarcu czy oddziaływania zaawansowanych procesów genetycznych (dia- lub epigenetycznych czy nawet metamorficznych), które w przypadku tych osadów nie miały miejsca.

W stosunku do tych skał można zastosować jeszcze inny wariant terminologiczny. W związku z tym, że reprezentują one skały prawie wyłącznie zbudowane z minerałów grupy SiO₂ oraz powszechnie występują w nich autogeniczne formy krzemionki można nazywać je również silkretami lub ganiesterami. Terminy te są stosowane w przypadku skał silnie zlitfikowanych, zbudowanych z ziaren kwarcu i krzemionkowego spoiwa. Przyjmuje się,

że powstały one w wyniku sylikfikacji piaszczystych gleb korzennych. O takiej ewentualności można wnioskować na podstawie wyników badań K. Górniak i in. (1996).

3.4.5. Geneza

Rezultaty obserwacji sedymentacyjnych, poparte badaniami mineralogiczno-petrograficznymi, wykazały, że skały te powstały w wyniku procesów sylikfikacji, którym poddawane były średnio- i gruboziarniste luźne piaski i żwiry. Istotnym problemem staje się więc ustalenie źródeł krzemionki spajającej te osady. Budowa geologiczna złoża Bełchatów wskazuje, że mogły być nimi krzemienie spotykane w wapieniach mezozoicznych występujących na obrzeżach i podłożu rowu Kleszczowa. W wyniku procesów wietrzeniowych zostały one wy-preparowane z wapieni, znajdujących się zwłaszcza w strefie kontaktu skał mezozoicznych z młodszymi osadami wypełniającymi ten rów. Strefa ta stanowiła zatem granicę skał o różnej odporności na wietrzenie, tzn. litych wapieni z odmianami skał iłowcowych i mułowcowych. Intensywność tych procesów mogła spowodować, że w wyniku ulewnych deszczy przenoszony był powstały wapienny rumosz skalny, w którym znajdowały się krzemienie, w osiowe partie rowu tektonicznego. W efekcie materiał wietrzeniowy znalazł się więc w całkowicie odmiennych warunkach paleośrodowiskowych.

Wypełniające rów Kleszczowa osady reprezentowały zróżnicowane granulometrycznie luźne sedymenty okruchowe wymieszane z materiałem organicznym. Znajdujące się w residuum wietrzeniowym okruchy krzemieni stanowiły źródło krzemionki niezbędnej do spajania luźnych osadów. Uwalniana z krzemieni, w wyniku wspomnianych procesów wietrzeniowych, przybierała ona postać niezdysocjowanego jonu H_4SiO_3 , który następnie był przemieszczany jako składnik roztworów wodnych. Ponadto krzemionka mogła docierać do zbiornika sedymentacyjnego również w formie zawiesin, tzw. żeli krzemionkowych. Tak przebiegający proces sylikfikacji zdaniem niektórych autorów, m.in. F.J. Pettijohna i in. (1972), jest typowy w luźnych skałach klastycznych, np. w piaskach i żwirach podczas wczesnej diagenety. Na kolejnym etapie powstawania piaskowców i zlepieńców krzemionkowych miała miejsce ich lityfikacja.

W mechanizmach prowadzących do powstania litych skał krzemionkowych znaczącą rolę odegrał materiał organiczny występujący w formie tzw. piaszczystych gleb korzeniowych (K. Górniak i in. 1996). Powstawały i rozwijały się one w brunatnowęglowych zbiornikach sedymentacyjnych na podłożu reprezentującym dojrzałe petrograficznie różnoziarniste osady okruchowe. Litologia tych skał ułatwiała rozwój roślinności torfotwórczej. W interesujących nas warunkach jej obecność wpływała na charakter i intensywność reakcji prowadzących do pojawienia się mobilnych związków SiO_2 . Znaczne ilości krzemionki były uruchamiane w wyniku kompleksującej roli substancji organicznej umożliwiającej synsedymentacyjną sylikfikację osadów. Powstające wówczas kwasy humusowe doprowadziły do obniżenia wartości

pH w roztworach do wartości nawet 4,5, co sprzyjało uwalnianiu krzemionki. O obecności, a w dalszej kolejności o roli substancji roślinnej w procesach sylikacji osadów piaszczystych może świadczyć występowanie w nich korzeni roślin w pozycji wzrostu. Wyniki długoletnich prac terenowych pokazały, że ich obecność posiada aspekt praktyczny. Jest pomocna w prognozowaniu lokalizacji piaskowców i zlepieńców krzemionkowych w górotworze. Można przypuszczać, że ich występowanie dotyczy miejsc z wyraźnymi przejawami uwęglenia, przybierającymi zarówno formy przewarstwień węgla, jak i obecności osadów pigmentowanych substancją organiczną. Intensywności procesów sylikacji sprzyjały też deniwelacje terenu. Ułatwiały one bowiem gromadzenie się znacznych ilości materiału wietrzeniowego. Poza tym L. Czarnecki i in. (2004) uważają, że miejscami tworzenia się tego typu skał były te strefy górotworu (rowu Kleszczowa), w których można zauważyć ślady działalności neotektonicznej. Dzięki nim powstawały nieciągłości ułatwiające migrację roztworów wzbogaconych w krzemionkę, a przez to także intensyfikację procesów sylikacji.

Inną przesłanką podkreślającą rolę substancji roślinnej w powstawaniu tego typu osadów jest brak w ich składzie glinokrzemianów, np. kaolinitu, illitu czy montmorillonitu. Obniżenie wartości pH sprzyjało ich rozkładowi i pojawieniu się wolnego Al_2O_3 , który był usuwany z tych osadów. Przyjmuje się, że tworzenie się glinokrzemianów może mieć miejsce przy obecności Al_2O_3 nie mniejszej niż 3% wag. Dowodem funkcjonowania tego mechanizmu są śladowe ilości glinki stwierdzone chemicznie w badanych piaskowcach i zlepieńcach krzemionkowych (tab. 3.1).

3.4.6. Lokalizacja w profilu litostratygraficznym

Próby wskazania lokalizacji i sposobu zalegania tej odmiany skał trudnourabialnych w złożu Bełchatów były podejmowane kilkakrotnie. W 1987 r. POLTEGOR zrealizował projekt badawczy mający na celu określenie miejsc, w których należałoby spodziewać się wystąpień tej odmiany skał. Prace prowadzono w południowej części Pola Bełchatów. Posługując się danymi pochodzącymi z prac kartograficznych oraz charakterystyką litologiczną osadów nawierconych w rdzeniach, wykonano szereg przekrojów geologicznych. Miały one umożliwić określenie geologicznych warunków ich zalegania, a co za tym idzie, wskazać miejsca ich lokalizacji. Wyniki tych prac wykazały, że obecność piaskowców i zlepieńców krzemionkowych może być związana z rejonami, w których zaleganie pokładu głównego węgla brunatnego ogranicza uskok lub uskoki. Z badań tych również wynikało, że w zasadzie każda ich obecność związana jest z pojawieniem się w górotworze przejawów uwęglenia, tzn. pokładów węgla, jego przewarstwień, a nawet zawęglonych piasków.

Stosując wymienione kryteria autorzy wzmiankowanego projektu wyznaczyli pięć obszarów, w których na terenie Pola Bełchatów należało spodziewać się obecności tych skał. Cztery z nich zlokalizowane były w południowej części tego pola złożowego, a jeden w pół-

nocnej. Ich kubatura określona metodą przekrojów geologicznych wykazała, że sumarycznie zasoby tych skał wynoszą około 10 mln m³.

W 1996 r. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica we współpracy z kopalnią Bełchatów zrealizowała projekt badawczy dotyczący „Geologiczno-górniczego zabezpieczenia eksploatacji trudnourabialnych skał na frontach wydobywczych kopalni Bełchatów (T. Ratajczak red. 1996). Wykonane prace miały umożliwić rozpoznanie sposobu i warunków ich zalegania w górotworze brunatnowęglowym. Dużo informacji na ten temat uzyskano na podstawie badań odsłonięcia zlokalizowanego w południowej części złoża Bełchatów. Miało ono charakter niecki wypreparowanej w osadach kompleksu ilasto-piaszczystego. Nieckowaty charakter nagromadzenia tych osadów podkreślony był formą i kształtem zalegania nagromadzonych w nim osadów. Stanowiły je masywne lub słabo warstwowane poziomo piaskowce i zlepieńce krzemionkowe o zmiennym zabarwieniu, tj. od jasnopopielatego do prawie czarnego. Odmiany jasne reprezentowały typ osadów rozsypliwych, a ciemne były zwięzłe.

Starano się rozpoznać formę występowania i sposób zalegania tego typu osadów. Wykazano, że charakterystyczne dla nich są dwie formy strukturalne. Pierwsza przyjmuje charakter pseudopokładowy. Nagromadzenia tego typu rozciągały się niemal horyzontalnie, przybierając kształt warstw lub soczew o miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do kilku, a nawet kilkunastu metrów. Ich rozprzestrzenienie poziome przekraczało w niektórych przypadkach nawet 100 m. Druga forma to skupienia odrębnych gniazd i soczew przypominających kształtem głązy narzutowe. Osiągały one rozmiary dochodzące nawet do 5 m średnicy. Gromadziły się one horyzontalnie czyniąc wrażenie gławowisk. Takie formy zalegania, zwłaszcza o charakterze pseudopokładow, powodowały, że obecność kolejnych nagromadzeń tych skał notowano na dwóch, a nawet kilku poziomach eksploatacyjnych.

Prześlędzono również sposób kontaktu tych skał z utworami obecnymi w ich spągu i stropie. Wykazano, że zazwyczaj zalegają one w otulinie piasków, mułów bądź iłów. W ich stropie, w zależności od miejsca występowania w profilu litostratygraficznym, obecna jest warstwa otoczek będąca tzw. powierzchnią mycia. W spągu utwory te bardzo często przechodziły w osady ilasto-piaszczyste kompleksu ilasto-węglowego. W przypadku nagromadzeń w formie wspomnianych gławowisk utwory ilasto-piaszczyste pełnią funkcję tła dla tkwiących w ich obrębie piaskowców lub zlepieńców.

W 1999 podjęto próbę zestawienia dotychczasowych wyników badań dotyczących piaskowców i zlepieńców krzemionkowych jako utworów trudnourabialnych (PROGIG 2000). Wskazały one, że skały te zaczęły się one pojawiać się w odkrywkach kopalnianych od momentu osiągnięcia przez procesy eksploatacyjne stropu kompleksu ilasto-węglowego. Zwrócono również uwagę na fakt, że do 1999 r. wystąpienia tych skał nie były ewidencjonowane. Nie podejmowano również prób zmierzających do odnotowania miejsca ich lokalizacji na mapach pokładowych, a także na etapie dokumentowania złoża. W kolejnych dokumentacjach czy dodatkach do dokumentacji geologicznych złoża węgla brunatnego można znaleźć

jedynie fragmentaryczne wzmianki na temat ich obecności i sposobu zalegania. Korzystając z wyników obserwacji poczynionych przez służby geologiczne kopalni, wykazano, że obecność tej odmiany skał trudnourabialnych można było stwierdzić na poziomach eksploatacyjnych od czwartego do siódmego. Miąższość poszczególnych nagromadzeń dochodziła do 30 m, a ich rozprzestrzenienie przekraczało nawet 100 m.

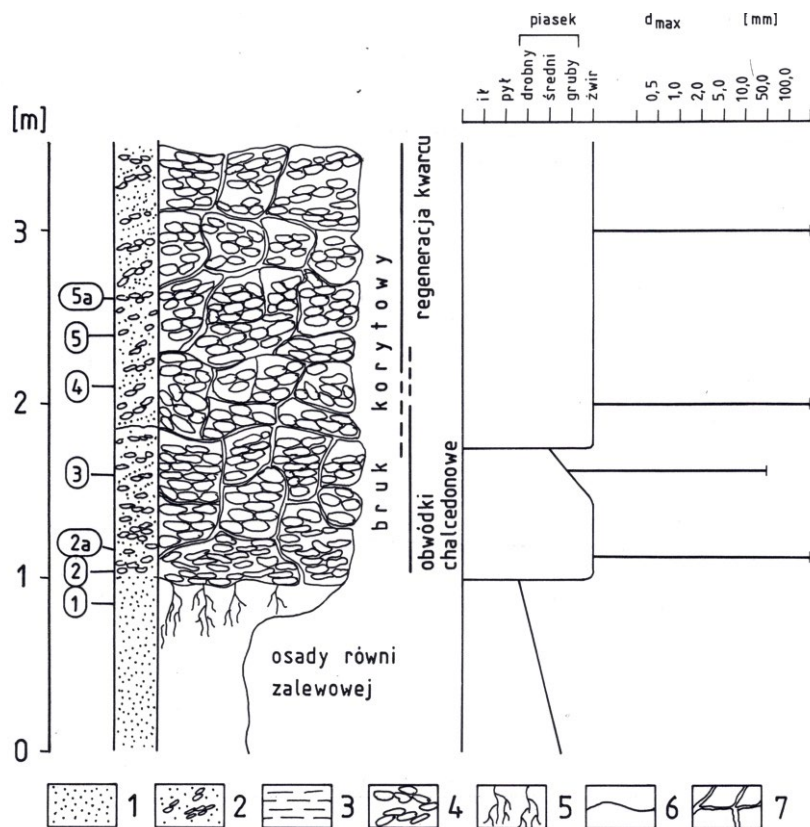
Dla prognozowania miejsc zalegania piaskowców i zlepieńców krzemionkowych skorzystano z profili litologicznych oraz wykonanych na ich podstawie przekrojów geologicznych. Odległości pomiędzy kolejnymi wierceniami rzadko były w nich mniejsze od 100 m, a co za tym idzie, niewystarczające do stwierdzenia czy nawet prognozowania miejsc ich zalegania. Mimo tych utrudnień podjęto próbę odnotowania lokalizacji tych utworów w granicach złoża. Miejsca te naniesiono na mapy pokładowe. Rezultaty tych działań trudno uznać za satysfakcjonujące, gdyż są to w zasadzie szkice przedstawiające zaledwie zarysy miejsc zalegania tych skał. Nie podano poza tym danych geodezyjnych na temat lokalizacji poziomów eksploatacyjnych, w obrębie których zalegają piaskowce i zlepieńce krzemionkowe.

L. Czarnecki (2005) uważał, że lokalizację tej odmiany skał można wiązać ze strukturami tektonicznymi lub sedimentacyjnymi złoża. Wieloletnie obserwacje terenowe, prowadzone w przypadku Pola Bełchatów pozwalały powiązać ich występowanie z jego północnymi i południowymi rejonami. Autor ten zdefiniował też strefy, w których obecność tej odmiany skał trudnourabialnych jest najbardziej prawdopodobna. Są to miejsca ze stwierdzonym:

- współwystępowaniem osadów węglowych, w tym zawęglonych piasków pylastych czy drobnoziarnistych;
- deformacjami tektonicznymi spowodowanymi obecnością uskoków brzeżnych oraz erozyjnego kontaktu z tzw. powierzchnią mycia;
- nieciągłościami tektonicznymi związanymi z dezintegracją blokową w będącą efektem wstrząsów.

Propozycje lokalizacji i form zalegania piaskowców i zlepieńców krzemionkowych (rys. 3.4) w górotworze brunatnowęglowym były również efektem prac związanych z przygotowaniem złoża do eksploatacji i samą ich eksploatacją. E. Sośniak i R. Maciejewski (2012) wykazali, że zbieranie nadkładu na VI piętrze wydobywczym doprowadziło do odsłonięcia tego typu skał na skalę dotąd niespotykaną w historii kopalni. Było to nagromadzenie zalegające w formie soczewy o miąższości 3,5 m i rozciągłości ponad 100 m. Jego zasoby oceniono na około 200 tys. m³. Rejon ten został dodatkowo rozpoznany otworami wiertniczymi wyprzedzającymi front eksploatacji. W ten sposób określono szczegółową lokalizację tego nagromadzenia skał trudnourabialnych.

Dążąc do rozwiązania problemu obecności piaskowców i zlepieńców krzemionkowych w Polu Szczerców jako utworów trudnourabialnych, wobec niesatysfakcjonujących rezultatów geologicznych prac poszukiwawczych prowadzonych sposobem tradycyjnym (wiercenia), sięgnięto po inne metody. Skorzystano w tym przypadku z metod geofizycznych. Tego typu prace realizowane były przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica



Rys. 3.4. Fragment zbocza stałego rejonu II z lokalizacją zalegania piaskowców i zlepieńców krzemionkowych (K. Bahrnowski i in. 1997)

Objaśnienia: 1 – piaskowce; 2 – piaskowce z otoczkami żwirowymi; 3 – iłowce; 4 – zlepienie;
5 – korzenie roślin; 6 – powierzchnia erozyjna; 7 – oddzielnosc blokowa

w Krakowie, Państwowy Instytut Geologiczny i Przedsiębiorstwo Geofizyczne w Warszawie. Prowadzone były one w pierwszych latach XXI wieku. W pracach tych posłużono się sejsmiką refleksyjną i refrakcyjną. Mimo że badania te były zakrojone na szeroką skalę, nie przyniosły spodziewanych efektów. Uzyskane wyniki wykazały, że wśród niewęglowych skał górotworu mamy do czynienia z osadami o niezbyt zróżnicowanej gęstości (K. Jakiel i in. 2004). Wśród nich zdecydowanie największą gęstością charakteryzują się neogeńskie piaskowce i zlepienie krzemionkowe. Stąd też teoretycznie powinna istnieć możliwość identyfikacji ich wystąpień na podstawie wyników badań geofizycznych. Jednak wyniki przeprowadzonych analiz nie przyniosły zadowalających wyników. Na ich podstawie nie można było jednoznacznie prognozować miejsc ich zalegania. Częściowo potwierdziły one spostrzeżenia, które uzyskano w czasie badań geofizycznych realizowanych w złożach niemieckich, a dotyczących lokalizacji tej odmiany skał trudnourabialnych. Pozytywnie kończyły się jedynie w przypadkach,

kiedy stopień ich sylikfikacji był na tyle zaawansowany, że prowadził do wyraźnego wzrostu gęstości, a miąższość ich przewarstwień przekraczała pół metra.

Wyniki prowadzonych w sposób ciągły na przestrzeni kilkudziesięciu lat prac, zmierzających do lokalizacji piaskowców i zlepieńców krzemionkowych w górotworze brunatnowęglowym, trudno uznać za satysfakcjonujące. Niemniej jednak pozwoliły one stwierdzić, że zaleganie tego typu skał związane jest z kilkoma kompleksami litologicznymi w obrębie złoża Bełchatów. W. Kozioł i in. (1994), a także T. Ratajczak i in. (2017) uważają, że są nimi:

- spągowe partie kompleksu ilasto-piaszczystego;
- tzw. powierzchnie mycia, będące kontaktem osadów czwartorzędowych i neogeńskich;
- spąg pokładu głównego węgla brunatnego.

Niektórzy autorzy, m.in. R. Frankowski i Ł. Sośniak (2005), nie wykluczyli wystąpień tych skał w obrębie innych jednostek litostratygraficznych złoża. Sugerowali także, że obecność piaskowców i zlepieńców krzemionkowych jest związana z elementami neotektonicznymi, znanymi z neogeńskiego złoża Bełchatów. Jednak wcześniej taka lokalizacja została zakwestionowana wynikami badań uzyskanymi przez POLTEGOR (1987) czy L. Czarneckiego (2005).

3.4.7. Niektóre właściwości fizyko-mechaniczne

Badania piaskowców i zlepieńców krzemionkowych, mające na celu wykazanie innych możliwości zagospodarowania niż produkcja kruszywa mineralnego, są bardzo skąpe. Niektóre wartości parametrów fizyko-mechanicznych tej odmiany skał można znaleźć w opracowaniu POLTEGOR-u (1987). Są też przytaczane przez L. Czarneckiego (2005). Zaprezentowane są one w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Niektóre wartości fizyko-mechaniczne piaskowców i zlepieńców krzemionkowych

Parametr	POLTEGOR (1987)	L. Czarnecki (2005)
Nasiąkliwość wagowa [% wag.]	1,2–15,6	2,0–15,6
Nasiąkliwość objętościowa [% obj.]	n.o.	4,5–28,2
Gęstość pozorna [g/cm ³]	1,7–2,47	1,77–2,29
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	1,7–29,5	1,7–28,5
Porowatość [%]	3,0	n.o.

n.o. – nie oznaczono.

3.5. Wapienie mezozoiczne

3.5.1. Wstęp

Obecność wapieni mezozoicznych w złożu węgla brunatnego Bełchatów związana jest ze strukturą rowu Kleszczowa. Występują one zarówno w podłożu formacji brunatnowęglowej, jak i w południowych i północnych zboczach odkrywek Bełchatów i Szczerców, gdzie na skutek postępującej eksploatacji węgla są sukcesywnie odsłaniane (fot. 3.3). W celu zapewnienia zboczom stateczności, podczas wydobywania węgla brunatnego, konieczne jest ich formowanie do odpowiedniego nachylenia. Nieodzowna jest w tym przypadku eksploatacja wapieni, która musi zostać poprzedzona szczegółowym rozpoznaniem, udokumentowaniem geologicznych warunków zalegania i parametrów fizyko-mechanicznych oraz zaprojektowaniem technologii wybierania. Wapienie są skałą litą, nieurabialną podstawowymi maszynami pracującymi w odkrywcach, zatem ich obecność w znaczący sposób podnosi koszty funkcjonowania kopalni. Jednocześnie wapienie są jedną z najbardziej wartościowych surowcowo kopalin towarzyszących.



Fot. 3.3. Kopalnia Bełchatów, pole eksploatacyjne Szczerców. Północne zbocze rowu Kleszczowa z odsłoniętymi wapieniami mezozoicznymi

Występowanie wapieni mezozoicznych w złożu węgla brunatnego Bełchatów wymaga analiz obejmujących co najmniej dwa problemy:

- pierwszy wynika stąd, że ze względu na sposób zalegania i właściwości fizyko-mechaniczne stanowią one duże utrudnienie w procesach eksploatacji węgla. Jednocześnie są skałą masowo występującą na końcowych frontach eksploatacji w brzeżnych partiach rowu tektonicznego;
- drugi dotyczy ich przydatności praktycznej. Wymaga to z kolei m.in. badań geologiczno-złożowych i określenia właściwości surowcowych.

Wapienie mezozoiczne w kopalni Bełchatów są eksploatowane od 1994 r. w Polu Bełchatów, a od 2009 r. w Polu Szczerców. Jednak pierwsze, aczkolwiek dalece niekompletne informacje na ich temat można znaleźć w „Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej” z 1964 r. Wówczas ich zasoby określono na około 300 mln m³. Kolejny raz zasoby szacowano w latach 80. ubiegłego wieku w obrębie zbocza południowego w rejonie antykliny Łękińska. Prognozowano, że ich wydobywanie będzie kształtować się na poziomie 2,5 mln Mg rocznie w Polu Bełchatów i od 20 do 60 mln Mg w Polu Szczerców.

Historia rozpoznania i wydobywania wapieni w złożu Bełchatów została przedstawiona przez K. Adamczyk i in. (2012b) w poniższym kalendarium. Najważniejsze wydarzenia dotyczą następujących lat:

- 1979 rok – strop tych kopalni został po raz pierwszy odsłonięty w rejonie zbocza południowego Pola Bełchatów;
- 1995 rok – opracowano projekt eksploatacji wapieni jury górnej z ich wychodni w rejonie antykliny Łękińska na zboczu południowym złoża Bełchatów;
- 2007 rok – wydobyto i przerobiono na kruszywo największą ilość wapieni, tj. ponad 270 tys. Mg;
- 2009 rok – rozpoczęto eksploatację wapieni jury górnej ze zbocza północnego Pola Szczerców.

Lokalnie odsłaniane w zboczach odkrywek w czasie robót górniczych wapienie, o korzystnych geologiczno-górniczych warunkach zalegania i parametrach jakościowych umożliwiających ich gospodarcze wykorzystanie, są selektywnie eksploatowane. Wydobywanie jest z tzw. punktów eksploatacyjnych, w sposób niekolidujący z wydobywaniem węgla brunatnego. Odsłonięte wapienie w pierwszej kolejności są rozluźniane za pomocą materiałów wybuchowych, następnie wybierane i przerabiane na kruszywo w miejscu ich wydobywania za pomocą zestawów krusząco-sortujących lub transportowane do oddziału pozyskiwania i przetworstwa surowców towarzyszących, gdzie są poddawane właściwej przeróbce. Zakłada się, że 75% urabianych wapieni po przeróbce zostanie gospodarczo wykorzystane. Pozostałe 25%, nienadające się do zagospodarowania (drobna frakcja, zanieczyszczenia) zostanie przeznaczona na zwałowisko wewnętrzne.

3.5.2. Litologia i warunki zalegania

Skały podłoża mezozoicznego są reprezentowane głównie przez wapienie jury górnej (oxford, kimeryd) z wkładkami margli. W mniejszym stopniu są to też zróżnicowane litologicznie skały kredy górnej: piaskowce, mułowce, wapienie margliste, margle, opoki i opoki margliste. Ze względu na silne zaangażowanie tektoniczne skał podłoża mezozoicznego, głównie poprzez liczne występujące uskoki ramowe i drugiego rzędu, obserwuje się mozaikowe zazębianie się zarówno warstw różnego wieku, jak i o różnym charakterze litologicznym.

Strop mezozoiku charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem morfologicznym. Jego deniwelacje wahają się w granicach od 30 do 45 m. W efekcie tego pojawia się szereg obniżień erozyjnych (dolin) oraz wyniesień (grzbietów). Obecność tych form jest wynikiem intensywnych procesów tektonicznych, które powodowały systematyczne obniżenie bazy erozyjnej. Spływające wody, wykorzystując uprzywilejowane kierunki wynikające z morfologii, erodowały strop osadów mezozoicznych, usuwając skały bardziej podatne na działanie czynników wietrzenia, a pozostawiając na miejscu ostańce zbudowane z wapieni o większej odporności.

Partie stropowe wapieni wykazują wyraźne oznaki skrasowienia. Poza przejawami krasu powierzchniowego, widocznego w postaci deniwelacji paleopowierzchni mezozoiku czy nagromadzeń krzemieni, dostrzegalne są efekty działania krasu podziemnego. Przybierają one formy kanałów, kawern, pustek skalnych z wypełnieniami ilasto-piaszczystymi, jak i niewielkich porów w obrębie tła skalnego wapieni. Ponadto strop wapieni „bełchatowskich” charakteryzuje się znacznym stopniem spękania. W związku z tym niektóre partie wapieni nie stanowią skały litej, występując w formie gruzu, brekcji, rumoszu czy zwietrzelin wymieszanych z iłem marglistym.

Prowadzone badania litostratygraficzne w Polu Szczerców wykazały, że zbocze północne zostało uformowane w skałach podłoża mezozoicznego lokalnie w dwóch rejonach, tj. zachodnim i wschodnim. Szacuje się, że do urobienia w tych rejonach będzie 2,9 mln m³ tego typu skał, czyli wapieni i margli jurajskich oraz ich zwietrzelin, rumoszy i brekcji. Z kolei zbocze południowe w przeważającej części jest zbudowane z trudnourabialnych skał podłoża mezozoicznego. Szacuje się, że do urobienia będzie tutaj od 32 do ponad 69 mln m³ tego typu skał, w zależności od przyjętego wariantu konturu wyrobiska. Przewiduje się też, że 60% będą stanowić wapienie z wkładkami margli, silnie spękanymi, ze szczelinami krasowymi, a pozostałe 40% ich brekcje, rumosze i zwietrzeliny (K. Adamczyk i in. 2012b).

Wapienie jurajskie charakteryzują się znaczną zmiennością litologiczną. Dominują wśród nich wapienie biolitowe, głównie mikrobialno-gąbkowe, rzadziej mikrobialno-koralowe. Powstały one w warunkach skłonu budowli rafowych. Natomiast wapienie detrytyczne i orano-detrytyczne utworzyły się w warunkach niecek biohermalnych. Ponadto występują wapienie ooidowe i onkoidowe, które reprezentują osady płytkiej platformy oraz wapienie pelityczne, typowe dla basenu centralnego. Są to skały odznaczające się zarówno wysoką twardością i zwięzłością (np. wapienie skaliste), jak i słabo zwięzłe czy nawet pylaste. Charakteryzują się

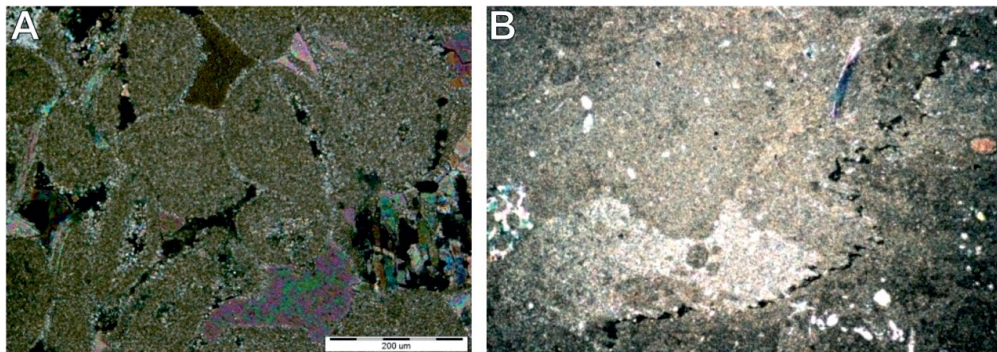
one dużym stopniem spękania oraz zawierają liczne przewarstwienia margli i wapieni marglistych. Posiadają na ogół niewielkie domieszki materiału terygenicznego oraz krzemieni epigenetycznych, szczególnie licznie występujących w obrębie gąbkowych wapieni oxfordzkich. W partiach stropowych objęte są one dodatkowo procesami krasowymi, których przejawem jest obecność licznych kawern i lei krasowych, wypełnionych materiałem ilasto-piaszczystym, a nawet rumoszem wapiennym, wymieszanym z materiałem ilastym, identyfikowanym jako brekcja krasowa. Procesom krasowym towarzyszą ponadto duże deniwelacje stropu wapieni. Warstwy o mniejszej twardości zostały usunięte, zaś lokalnie pozostały jedynie wapień skaliste o wyższej twardości w formie ostańców.

3.5.3. Charakter mineralogiczno-petrograficzny

Wapień „belchatowski” generalnie są skałami monomineralnymi. W ich składzie mineralnym zdecydowanie dominuje kalcyt, stanowiąc ponad 90% obj. skały. Poza kalcytem dodatkowo identyfikowano minerały z grupy SiO_2 , głównie opal i chalcedon, rzadziej kwarc oraz minerały ilaste reprezentowane zarówno przez montmorillonit, illit, jak i kaolinit, a także piryt.

Nieznaczne zróżnicowanie składu mineralnego tych skał jest wynikiem działania rozmaitych procesów fizycznych i chemicznych zachodzących zarówno na etapie sedymentacji materiału allochemicznego w zbiornikach, ich lityfikacji (diagenetyzacja), jak i później w skałach już zlityfikowanych (epigenetyzacja). Do najważniejszych procesów należą: kompaktacja, cementacja, a także rozpuszczanie i rekrytalizacja, które są związane z wtórnymi procesami mineralizacyjnymi zachodzącymi w tych skałach.

W badanych skałach obserwowano zarówno efekty kompaktacji mechanicznej wywołane naciskiem skał nadkładu, jak i chemicznej związane z procesami rozpuszczania pod ciśnieniem. Procesy kompaktacji mechanicznej zachodziły zarówno na wczesnym etapie diagenetyzacji w osadzie przynajmniej częściowo niezlityfikowanym, jak i później na etapie epigenetyzacji. W pierwszym przypadku dowodzi tego obecność gęsto upakowanych, a także spłaszczonych czy nawet plastycznie zniekształconych ooidów (fot. 3.4A). Na tym etapie procesy kompaktacji mechanicznej doprowadziły przede wszystkim do zmniejszenia objętości i, co za tym idzie, zwiększenia gęstości osadu. Z kolei dowodem na obecność późniejszej kompaktacji mechanicznej jest występowanie pękniętych ziaren i bioklastów, których fragmenty zostały przesunięte względem siebie. Do późnodiagenetycznych przejawów kompaktacji należy również stylolityzacja i związane z nią procesy rozpuszczania skały pod ciśnieniem (fot. 3.4B). Mechaniczny nacisk w skonsolidowanej skale powodował tworzenie się spękań, które następnie były drogami migracji roztworów i powodowały rozpuszczanie skał objawiające się m.in. niekompletnością ziaren przylegających do szwów stylolitowych (E. Hycnar i in. 2007; E. Hycnar 2015).



Fot. 3.4. Widoczne procesy kompaktacji mechanicznej (A) i chemicznej (B)

A – zdeformowane ooidy; B – rozpuszczone intraklasty na szwie stylolitowym. Mikroskop polaryzacyjny, Xp

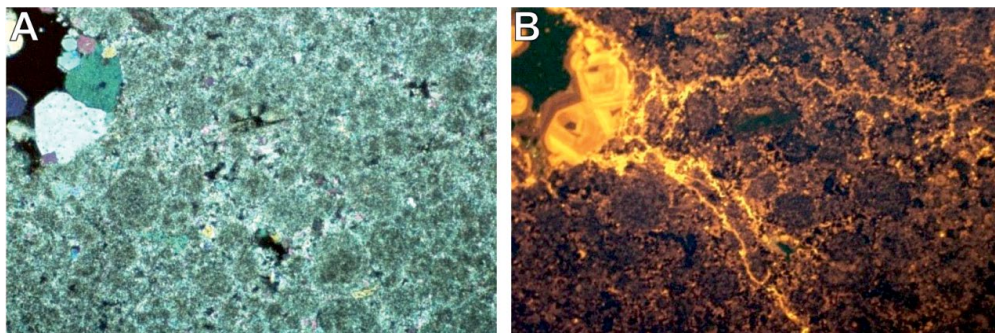
Na wczesnym etapie diagenety kompaktacja została przerwana przez cementację, która doprowadziła do zwiększenia sztywności osadu (E. Hycnar 2015). Efektem tego jest obserwowana w skałach masywna tekstura. Porowatość wapieni ujawnia się dopiero po zastosowaniu bardziej zaawansowanych metod badawczych, częściowo jest widoczna podczas obserwacji skaningowych.

Obserwowana w wapieniach porowatość to przede wszystkim porowatość wtórna, która nie ma związku z cechami pierwotnymi osadu. Pory pierwotne, na późniejszych etapach diagenety, zostały wypełnione w efekcie wtórnych procesów mineralizacyjnych, głównie przez kalcyt, a w mniejszym stopniu przez inne minerały. Widoczna w niektórych partiach wapieni porowatość związana jest głównie z procesami krasowymi. W mniejszym stopniu jest wynikiem śródziarnowego rozpuszczania węglanów w warunkach podwyższonego ciśnienia. Pory związane np. z występowaniem stylolitów, a także szczeliny i spękania będące wynikiem mechanicznego nacisku zostały wypełnione w litej skale na różnych etapach diagenety.

Z przemianami diagenetycznymi i epigenetycznymi bezpośrednio związane są wtórne procesy mineralizacyjne, spośród których najsilniej rozwinięty jest proces kalcytyzacji oraz silifikacji, a w mniejszym stopniu pirytyzacji. Lokalnie stwierdzono również przejawy sulfatyzacji i fosfatyzacji (E. Hycnar 2015, 2018).

Proces kalcytyzacji doprowadził do zastąpienia pierwotnego kalcytu, przy współudziale organizmów żywych, kolejnymi generacjami tego minerału. Pierwotna odmiana kalcytu występuje jedynie w formie reliktów zachowanych w obrębie bioklastów. Na różnych etapach diagenety został on zastąpiony przez młodsze generacje tego minerału. W obserwacjach mikroskopowych, prowadzonych w katodoluminescencji, wyróżniają się one czerwoną i żółtą barwą (fot. 3.5). Kalcyt o luminescencji barwy czerwonej podlegał oddziaływaniu roztworów diagenetycznych zawierających Fe^{3+} . Natomiast kalcyt wykazujący luminescencję żółtą krystalizował w warunkach niedoboru Fe^{3+} , przy znacznym udziale Mn^{2+} . Tę formę kalcytu

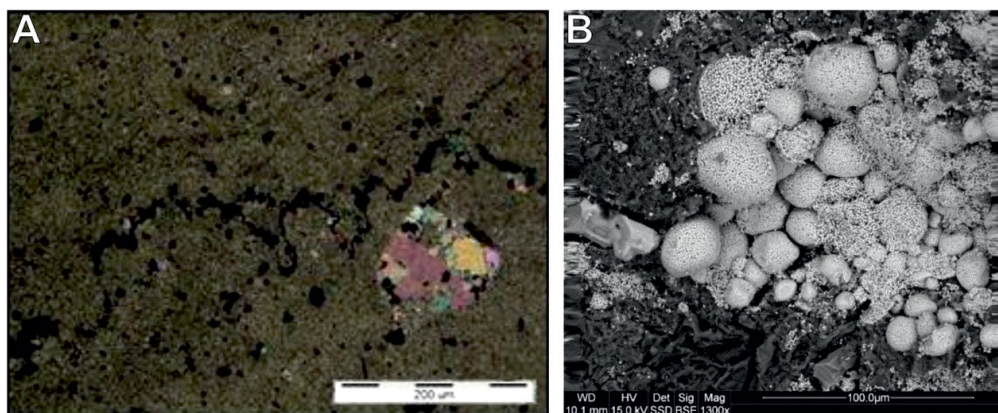
można łączyć z warunkami hipergenicznymi i filtracją wód gruntowych pochodzenia meteorycznego. Z kolei sylikifikacja, czyli proces wzbogacania skał w krzemionkę następował poprzez wypełnienie różnego rodzaju porów, szwów stylolitowych, pęknięć i szczelin kompakcyjnych, a także zastępowanie kalcytu (najczęściej w bioklastach) opalem i chalcedonem, rzadko mikrokryształiczną formą kwarcu.



Fot. 3.5. Generacje kalcytu o zróżnicowanej barwie w luminescencji.
Mikroskop polaryzacyjny; A, Xp; B, CL

Pirytyzacja związana jest zarówno zastępowaniem kalcytu przez FeS_2 , jak i impregnacją różnego rodzaju porów skalnych, takich jak: szwy stylolitowe, szczeliny i spękania kompakcyjne oraz będące efektem naprężeń tektonicznych, kanały po infaunie, a także pory skalne powstałe w wyniku procesów rozpuszczania. Siarczek ten przyjmuje zróżnicowane formy morfologiczne: amorficzne, framboidalne (powstałe przy współudziale bakterii) i o idiomorficznych zarysach. Zdecydowanie dominują formy framboidalne, co wskazuje na biochemiczny charakter procesu pirytyzacji (fot. 3.6). Ich liczne występowanie zarówno w obrębie szwów stylolitowych wypełnionych roślinną substancją ograniczą, jak i w ich bezpośrednim sąsiedztwie sugeruje, że właściwy proces pirytyzacji zachodził w czasie epigenezy i związany był z rozkładem substancji organicznej pochodzenia roślinnego. Panujące warunki redukcyjne, przy współudziale mikroorganizmów, powodowały rozkład aminokwasów prowadzący do wydzielania się siarkowodoru, który następnie brał udział w krystalizacji pirytu (E. Hycnar 2015). W obrębie samych framboidów widoczne jest wyraźne zróżnicowanie morfologii kryształów pirytu (mikroframboidy przyjmują zarówno kształty owalne, jak i ostrokrawędziste z dobrze wykształconymi ścianami komórkowymi), co wskazuje, podobnie jak w przypadku kalcytu, na obecność kolejnych generacji tego siarczku. Formy ostrokrawędziste mikroframboidów należy uznać za efekt przekrystalizowania form owalnych. Zjawisko to jest możliwe pod warunkiem, że w czasie wzrostu framboidów zostanie zapewniona powol-

na, niczym niezakłócona dostawa żelaza i siarki (E. Stachura i T. Ratajczak 2004). Piryt stanowiący wypełnienia porów i pustek krasowych, szczelin i pęknięć tektonicznych, a także zastępujący kalcyt w elementach szkieletowych, jest wynikiem krystalizacji z roztworów jonowych.



Fot. 3.6. Framboidy pirytowe w sąsiedztwie szwu stylolitowego.

A – mikroskop polaryzacyjny, Xp; B – mikroskop skaningowy, SEM/EDX

Efektem procesów mineralizacyjnych, a w szczególności kalcytyzacji było zwiększenie sztywności i twardości wapieni. Znalazło to odzwierciedlenie w podwyższonych wartościach parametrów fizyko-mechanicznych, takich jak: wytrzymałość na ściskanie, odporność na rozdrabnianie czy urabialność. Przyczyniły się do tego również pozostałe procesy mineralizacyjne, w tym silifikacja ze względu zarówno na samą specyfikę tego procesu, jak i stopień zaawansowania obserwowany w niektórych partiach wapieni. Za niskie wartości parametrów fizyko-mechanicznych odpowiadają z kolei zjawiska krasowe, z którymi związane jest również wzbogacenie wapieni w minerały ilaste.

3.5.4. Skład chemiczny

Skład chemiczny wapieni jest bezpośrednim odzwierciedleniem ich składu mineralnego. Jest również jednym z najważniejszych parametrów definiujących właściwości użytkowe tych skał. Wapienie jurajskie występujące w otoczeniu złoża Bełchatów charakteryzują się wysoką zawartością CaCO_3 (91,16–99,51% wag., średnio 95,95% wag.). Obecność pozostałych składników na ogół charakteryzuje się niską zawartością. Stwierdzono jednak rejon, w których zaobserwowano wyraźnie wyższe zawartości niektórych z nich, głównie SiO_2 i Fe_2O_3 oraz podwyższone Al_2O_3 (tab. 3.3). Wysoka zawartość CaCO_3 w wapieniach

mezozoicznych wynosząca średnio 95,95% wag. wydaje się przesądzać o możliwościach wykorzystania tej kopaliny we wszystkich technologiach odsiarczania stosowanych w energetyce.

Tabela 3.3. Wyniki badań chemicznych wapieni z Pola Szczerców; zawartości minimalne, maksymalne i średnie wg T. Ratajczaka i in. (2017)

Składnik	Zawartość [% wag.]
SiO ₂	0,52–7,11 (2,11)
Al ₂ O ₃	0,01–3,82 (0,36)
Fe ₂ O ₃	0,05–9,65 (0,14)
CaO	51,07–55,75 (53,76)
MgO	0,08–0,45 (0,22)
MnO	0,00–0,31 (0,03)
K ₂ O	0,00–0,16 (0,02)
Na ₂ O	0,00–0,10 (0,03)
CaCO ₃	91,16–99,51 (95,95)
MgCO ₃	0,17–0,94 (0,46)

Objaśnienia: w nawiasach podano wartości średnie.

3.5.5. Parametry fizykochemiczne i fizyko-mechaniczne

Obok składu chemicznego właściwości użytkowe wapieni charakteryzowane są przez szereg parametrów fizykochemicznych i fizyko-mechanicznych, takich jak: powierzchnia właściwa i porowatość, białość, ścieralność, wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność czy energochłonność procesu mielenia. Z uwagi na to, że wiodącym kierunkiem wykorzystania wapieni jest produkcja sorbentów SO₂ do istotnych parametrów należy zaliczyć również reaktywność (RI) oraz pojemność sorpcyjną (CI) względem SO₂.

Wartości powierzchni właściwej wapieni „bełchatowskich”, oznaczone metodą niskotemperaturowej sorpcji azotu, są silnie zróżnicowane (tab. 3.4). Mieszczą się one w przedziale 1,08–12,2 m²/g. Zróżnicowanie to determinowane jest udziałem mikroporów. Powierzchnie właściwe rozbudowane w oparciu o mikropory (pory o średnicy < 2 nm) charakteryzują się wysokimi wartościami. Z kolei wielkości rzędu od 1 do kilku m²/g pozbawione są mikroporów. W tym przypadku wielkość powierzchni zależy od udziału mezoporów (porów o średnicy 2–50 nm).

Parametry przestrzeni porowej wapieni, oznaczone metodą porozymetrii rtęciowej, wskazują, że w zakresie większych średnic porów (powyżej 5 nm) wartości powierzchni właściwej

Tabela 3.4. Parametry tekstury porowatej oznaczone metodą niskotemperaturowej sorpcji azotu

Parametr	S_{BET} [m ² /g]	V_{tot} [cm ³ /g]	V_{mik} [cm ³ /g]	V_{mik}/V_{tot}	V_{mez} [cm ³ /g]	V_{mez}/V_{tot}	V_{mak} [cm ³ /g]	V_{mak}/V_{tot}	D_{sr} [nm]
Wartość	1,08– 12,2	0,013– 0,029	0,000– 0,004	0,000– 0,138	0,004– 0,021	0,333– 0,724	0,008– 0,004	0,667– 0,138	26,4– 9,5

Objaśnienia: S_{BET} – powierzchnia właściwa, V_{tot} – całkowita objętość porów, V_{mik} – objętość mikroporów, V_{mik}/V_{tot} – udział mikroporów w całej objętości porów, V_{mez} – objętość mezoporów; V_{mez}/V_{tot} – udział mezoporów w całej objętości porów, V_{mak} – objętość makroporów, V_{mak}/V_{tot} – udział makroporów w całej objętości porów, D_{sr} – przeciętna średnica porów.

są zbliżone 0,99–1,43 m²/g (tab. 3.5). Istotne różnice stwierdzono w przypadku porowatości efektywnej. Generalnie wraz ze wzrostem powierzchni właściwej wapieni maleje udział porów otwartych.

Tabela 3.5. Parametry przestrzeni porowej oznaczone metodą porozymetrii rtęciowej

Parametr	S_{POR}	V_{POR}	P_{POR}	D_{POR}
Wartość	0,99–1,43	0,36–0,45	46,53–28,72	1,49–0,82

Objaśnienia: S_{POR} – powierzchnia właściwa [m²/g], V_{POR} – objętość porów [mL/g], P_{POR} – porowatość efektywna [%], D_{POR} – przeciętna średnica porów [μm].

Białość wapieni (R_y) jest parametrem, który świadczy o czystości chemicznej tego surowca. Wartość tego parametru zależy od wielu czynników wynikających przede wszystkim ze składu chemicznego i, co za tym idzie, fazowego wapieni. Białość wapieni „bełchatowskich” jest zróżnicowana. Uzyskane wartości obejmują przedział 54,9–81,7%. Generalnie najwyższe wartości tego parametru są charakterystyczne dla wapieni o wysokiej zawartości CaCO₃. Natomiast składnikiem, który najbardziej wpływa na obniżenie poziomu białości, jest uwęglona substancja organiczna. W mniejszym stopniu za niższe wartości białości odpowiada obecność pirytu. Po wyprażeniu wapieni w temp. 850°C i utlenieniu (spaleniu) części organicznych wartości tego parametru są wyższe i mieszczą się w węższym zakresie (68,5–82,1%).

Bezpośredni wpływ na białość wapieni ma również obecność pierwiastków o właściwościach barwiących, głównie Fe i Mn. Odgrywają one znaczącą rolę, nawet jeśli występują w znikomych ilościach, nie tworzą własnych faz mineralnych, ale są obecne np. w strukturze samego kalcytu w formie podstawień izomorficznych w sieci krystalicznej, a także wrostków czy inkluzji.

Pośród parametrów fizyko-mechanicznych największym zróżnicowaniem charakteryzują się wartości Indeksu pracy Bonda (W_i). Obejmują one interwał od 7,03 do 17,30 kWh/Mg, przy czym najczęściej kształtują się na poziomie ok. 9–10 kWh/Mg. Stwierdzone wartości,

pomimo że zawarte są w szerokim interwale, nie wykraczają jednak poza uznane za charakterystyczne dla tego typu surowców. Należy zaznaczyć, że wapienie spośród wszystkich kopalin wykazują największą zmienność parametrów fizyko-mechanicznych. To zróżnicowanie jest powszechnie notowane w obrębie odmian równowiekowych czy nawet eksploatowanych z jednego złoża. W przypadku wapieni „bełchatowskich” znacznym zróżnicowaniem charakteryzują się również wytrzymałość na ściskanie (R_C – 10,3 do 172,5 MPa) oraz gęstość objętościowa (ρ – 2127,3 do 2659,3 kg/m³).

Wysokie wartości parametrów fizyko-mechanicznych związane są z procesami mineralizacyjnymi, przede wszystkim z kalcytyzacją i sylifikacją, a w mniejszym stopniu z pirytyzacją, z uwagi na ograniczone rozprzestrzenienie tego procesu. Cementacyjny charakter tych procesów doprowadził do zwiększenia zwięzłości i gęstości wapieni. W przypadku sylifikacji i pirytyzacji powstałe fazy mineralne wykazują wyższą twardość w stosunku do kalcytu. Również proces kalcytyzacji, związany z rekrystalizacją kalcytu w różnych warunkach środowiskowych, przyczynił się do wyraźnego zwiększenia energochłonności procesu mielenia. Najwyższe wartości Indeksu pracy Bonda (rzędu 12–16 kWh/Mg wykazywały wapienie o najwyższej zawartości CaCO₃, przy jednocześnie niskim udziale innych składników chemicznych. Parametry teksturalne tych wapieni, takie jak powierzchnia właściwa i porowatość, charakteryzowały się określonymi wartościami. Powierzchnia właściwa (S_{BET}) osiągała znaczne rozmiary (rozbudowana głównie w oparciu o mikropory), a porowatość efektywna (P_{POR}) kształtowała się na wyraźnie niższym poziomie. Natomiast niskie wartości parametrów fizyko-mechanicznych (np. Indeksu pracy Bonda rzędu 7–8 kWh/Mg) należy wiązać z procesami krasowymi, obecnością nieciągłości kompakcyjnych (szwów stylolitowych, pęknięć i szczelin kompakcyjnych) wypełnionych uwęgloną substancją organiczną.

3.5.6. Możliwości wykorzystania

Badania nad możliwością wykorzystania wapieni podjęto już w latach 60. XX wieku, na etapie rozpoznania złoża. W Kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego Bełchatów z 1964 roku wapienie generalnie uznano za nieprzydatne dla przemysłu wapienniczego oraz jako wapno rolnicze z uwagi na niską zawartość wapnia. Zaznaczono, że jedynie przy zastosowaniu selektywnej eksploatacji z niektórych partii można uzyskać surowiec o wyższych parametrach, nadający się do tego typu wykorzystania. Pomimo tego, badania kontynuowano w rejonach, gdzie przewidziano konieczność formowania zboczy odkrywek w wapieniach na znacznych odcinkach. Takie badania surowcowe wapieni mezozoicznych przeprowadzono w latach 1972–1974 w zboczu południowym Pola Bełchatów. Wykazano możliwość ich wykorzystania do produkcji wapna palonego dla przemysłu budowlanego, wapna rolniczego, a także w hutnictwie jako topnik.

W. Kozioł i in. (2007b) wykazali przydatność wapieni do produkcji kruszywa łamanego klasy III. Niektóre ich partie mogą być wykorzystywane też jako kruszywo do betonu. Częściowo bowiem zostały one zaliczone jako surowiec pozaklasowy, nieprzydatny dla takiego kierunku wykorzystania z uwagi na niespełnianie podstawowych wymagań, m.in. takich jak: ścieralność, nasiąkliwość czy mrozoodporność. Inny możliwy kierunek ich wykorzystania to produkcja węglanoporytu, tj. kruszywa stosowanego do produkcji betonów o wytrzymałości co najmniej 12,5 MPa.

W kolejnych Kompleksowych dokumentacjach złoża węgla brunatnego Bełchatów – Pole Szczerców (1977) oraz Pole Bełchatów (1983) oraz w późniejszych dodatkach do obu dokumentacji wskazano rejony występowania wapieni o korzystnych parametrach fizyko-chemicznych, umożliwiając ich zagospodarowanie w przemyśle cementowym, hutniczym, do produkcji wapna palonego i rolniczego oraz kruszywa drogowego. W 2007 r. wykonano pierwsze pilotażowe badania wapieni mające na celu określenie możliwości wykorzystania ich w przemyśle energetycznym jako sorbentów SO_2 . Wyniki były na tyle satysfakcjonujące, że w 2011 r. rozpoczęto badania na większą skalę.

Możliwe kierunki wykorzystania surowcowego wapieni mezozoicznych ze złoża Bełchatów ilustruje rysunek 3.5.



Rys. 3.5. Potencjalne możliwości zagospodarowania wapieni ze złoża węgla brunatnego Bełchatów (wg K. Adamczyk i in. 2012b)

Kruszywo łamane

Nieprzerwanie od początku eksploatacji wapienie są przerabiane na kruszywo łamane i wykorzystywane głównie do budowy dróg technologicznych i lokalnych. Zagospodarowywane są one na miejscu na potrzeby własne kopalni, jak i sprzedawane na zewnątrz. Wielkość wydobywania i struktura zagospodarowania wapieni w formie kruszywa zmieniała się w poszczególnych latach zależnie od posiadanych możliwości eksploatacyjnych i przerobczych oraz zapotrzebowania. Ogółem na potrzeby własne kopalni wykorzystano ok. 57% produkowanego z wapieni kruszywa, a 43% sprzedano odbiorcom zewnętrznym (K. Adamczyk i in. 2012b).

Podstawowym kierunkiem wykorzystania tych kopalin jest produkcja kruszywa. Zmienność składu mineralnego, a przez to i właściwości fizyko-mechanicznych, spowodowała, że zaistniała możliwość uzyskiwania z nich szerokiego wachlarza tego typu produktów. Z tego m.in. powodu w pierwszych latach XXI wieku dało się zauważyć wyraźny wzrost przetwórstwa tej kopalin. Jego apogeum przypadło na lata 2006–2010, przekraczając 140 tys. Mg (K. Adamczyk i in. 2012b). W tej sytuacji kopalnia zaczęła szukać nowych rozwiązań organizacyjnych. Zaszła wówczas potrzeba uruchomienia wydobywania wapieni w tzw. rejonie 2 Pola Szczerców.

Według B. Olech i E. Sośniaka (2016) przewidywane są następujące kierunki i sposoby zagospodarowania wapieni mezozoicznych:

- 35% zabezpieczenie skarp;
- 10% sprzedaż na rynek zewnętrzny;
- 10% wykorzystanie w instalacjach odsiarczających spaliny w elektrowni Bełchatów;
- 45% składowanie na złożach antropogenicznych z zamiarem przyszłego wykorzystania.

Otrzymywane z wapieni kruszywo może być wykorzystane do podbudowy i utwardzania dróg oraz placów technologicznych (fot. 3.7). W sytuacji dróg o dłuższym okresie funkcjonowania wykonuje się z niego podbudowę pod wierzchnią warstwę.

Eksploatacja i przeróbka wapieni na kruszywo sprawiły, że kopalnia z klienta na rynku kruszyw stała się ich eksporterem. W 2012 r. prawie 60% uzyskanego kruszywa została przekazana odbiorcom zewnętrznym. Jednym z przykładów takiego wykorzystania kruszywa była budowa odcinka drogi wojewódzkiej Łask–Częstochowa o długości 10 km.



Fot. 3.7. Wykorzystanie wapieni do podbudowy drogi technologicznej w KWB Bełchatów

Sorbenty SO_2

Jednym z podstawowych kierunków wykorzystania wapieni w kraju i na świecie jest produkcja sorbentów do odsiarczania spalin w energetyce zawodowej. Analizując taką możliwość wykorzystania wapieni „bełchatowskich”, należy wziąć pod uwagę fakt, że ich samodzielna eksploatacja nie może być brana pod uwagę ze względu na znaczną głębokość ich zalegania. Taka szansa istnieje jedynie w miejscach, gdzie strop wapieni jest odsłaniany na skutek postępującej eksploatacji węgla. Daje to możliwość ich wydobywania z tzw. punktów eksploatacyjnych pod warunkiem, że ich ewentualna eksploatacja nie będzie kolidować z wydobywaniem węgla brunatnego.

Badania nad możliwością wykorzystania wapieni „bełchatowskich” jako sorbentów do odsiarczania spalin w energetyce zawodowej zainicjowano w 2010 r. poprzez analizę kilku próbek. Wyniki badań były na tyle obiecujące, że 2011 r. rozpoczęto realizację projektu „Badania parametrów jakościowych i warunków zalegania oraz ocena przydatności do zagospodarowania skał węglanowych (wapieni i kredy jeziornej) zalegających w za-

kresie robót górniczych P/Szczerców”. Łącznie przebadano 189 próbek wapieni pochodzących z 33 otworów wiertniczych. Wykazano, że lokalnie odsłaniane są wapienie o parametrach umożliwiających wykorzystanie w formie sorbentów SO_2 . Wapienie powinny charakteryzować się ponadto korzystnymi geologiczno-górnictwowymi warunkami zalegania. W stopniu optymalnym wymagania te spełnia zbocze południowe Pola Szczerców. Pod względem strukturalnym stanowią je wapienie zalegające w osi antykliny Dąbrowy Rusieckiej–Chabielic. Przy zastosowaniu eksploatacji selektywnej i segregacji urobku, wapienie te będą mogły być wykorzystane zarówno w mokrych, jak i suchych technologiach odsiarczania, w tym również w paleniskach fluidalnych. Podstawowe parametry jakości badanych wapieni warunkujące taką przydatność, takie jak: skład fazowy i chemiczny, białość, zawartość wilgoci, wskaźniki reaktywności (RI) i sorpcji (CI), są zgodne z obowiązującymi wymaganiami odbiorców tego typu sorbentów.

W badaniach jakości wapieni jako sorbentów SO_2 , równie istotny jest parametr odpowiedzialny za energochłonność procesu ich przemiału, tzw. Indeks pracy Bonda (BWi). Stopień przemiału wapieni w przypadku mokrej metody wapiennej wpływa na skuteczność procesu odsiarczania spalin poprzez kinetykę roztwarzania sorbentu i, co za tym idzie, szybkość wzrostu pH w absorberze. Wymagania dotyczące wartości tego parametru zależą od samej instalacji przemiału, tj. rodzaju stosowanych młynów. Na ogół przyjmuje się, że wartość BWi nie powinna przekraczać 11–12 kWh/t. W przypadku wapieni „bełchatowskich” przeciętna wartość BWi kształtuje się na poziomie 9–10 kWh/t. Należy jednak zaznaczyć, że wartości tego parametru w przypadku niektórych próbek badanych wapieni były wyższe.

3.6. Inne odmiany skał trudnourabialnych

3.6.1. Czwartorzędowe piaskowce żelaziste

W czwartorzędowym nadkładzie złoża węgla brunatnego Bełchatów spotykano niekiedy serie piaskowców. Z uwagi na charakter ich spoiwa nazywane one były żelazistymi. Miejsca występowania tych utworów charakteryzowała zazwyczaj skomplikowana i zaawansowana glacytektonika. Znamienne, że w miejscach ich nagromadzeń pod osadami czwartorzędownymi zalegały zwykle wysoko wyniesione utwory neogenu. Cementacja żelazista pojawiała się z kolei w strefach, które zbudowane są z horyzontalnie zalegających glin lodowcowych.

Skały te nie były obiektem badań petrograficznych. Wspomniana duża twardość i związana z tym wytrzymałość mechaniczna, a także geologiczno-górnictwowe warunki zalegania sprawiają, że są one zaliczane do odmian trudnourabialnych. W tabeli 3.6. podano niekompletne wyniki badań chemicznych piaskowców żelazistych ze złoża Bełchatów. Przeprowadzono je dla próbek naturalnych i spoiwa tych utworów. Uzyskane wyniki

wskazują, że substancja żelazista wpływająca na charakter mineralny jest obecna przede wszystkim w spoiwie tych utworów.

Tabela 3.6. Niepełny skład chemiczny czwartorzędowych piaskowców żelazistych oraz ich spoiwa pochodzących ze złoża węgla brunatnego Bełchatów wg R. Frankowskiego i E. Sośniaka (2005)

Składnik	Zawartość [% wag.]	
	próbki naturalne	spoiwo
SiO ₂	64,77–87, 64 (77,12)	0,44–1,44 (0,93)
Al ₂ O ₃	1,00–1,76 (1,41)	2,30–7,53 (5,09)
Fe ₂ O ₃	4,96–17,92 (10,27)	61,60–85,06 (73,28)
CaO	0,47–6,35 (2,77)	0,70–6,30 (4,65)
MgO	0,05–0,42 (0,21)	0,12–3,11 (0,88)
Straty prażenia	4,94–12,49 (8,20)	7,35–21,30 (13,14)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

Tę odmianę skał (piaskowce żelaziste) do trudnourabialnych zaliczyli m.in. W. Koziół i in. (2007a). Jednak jej obecność wśród osadów czwartorzędowych jest sporadyczna. Stąd też brak jest bardziej szczegółowych informacji na temat ich litologii, geologiczno-górnictwowych warunków zalegania czy cech fizyko-mechanicznych.

3.6.2. Skały przejściowe i okruchowe

Interesująca pod względem litologicznym jest strefa kontaktu wapieni mezozoicznych z osadami kenozoicznymi. Wynika to stąd, że była ona poddawana intensywnym niekiedy procesom minerałotwórczym. Zmianom ulegały także facjalne warunki sedimentacji. Zachodziły one na etapie dia- i epigenezy. Ich efektem jest pojawienie się skał o odmiennym charakterze petrograficznym. W seriach wapiennych widoczne są skały przejściowe – opoki, gezy, margle czy okruchowe – arenity i waki (tab. 3.7). Zdaniem m.in. W. Koziola i in. (2007a) zaliczane są one do trudnourabialnych. Autorzy ci dla uzasadnienia tego stwierdzenia podają wartości wskaźnika zwięzłości f_p .

Sposób zalegania tych skał w górotworze brunatnowęglowym ma charakter niszowy. Nie tworzą one ciągłych nagromadzeń pokładowych, a raczej występują w formie soczewkowatych przewarstwień o zmiennej miąższości i rozciągłości. Zauważyć było można przejścia facjalne pomiędzy tymi odmianami skał. Nie wydaje się, aby taki sposób ich zalegania w profilu litostratygraficznym złoża był sprawcą utrudnień w procesie eksploatacji węgla brunatnego.

Tabela 3.7. Skład chemiczny skał utworów trudnourabialnych z kontaktu mezozoiku i kenozoiku w złożu węgla brunatnego Bełchatów wg T. Ratajczaka i in. (2002)

Składnik	Odmiana skały i zawartość składnika [% wag.]		
	gezy	opoki	margle
SiO ₂ + NR	95,90	51,10	10,46–28,69
Al ₂ O ₃	0,30	0,60	10,90–12,50
Fe ₂ O ₃	0,80	0,50	0,40–1,80
CaO	0,20	24,90	24,10–35,20
MgO	0,50	0,70	1,90–3,90
Wilgoć	1,87	1,13	0,54–1,44
Straty prażenia	1,84	20,14	28,33–37,75

Rzadziej w tej serii skał w złożu węgla Bełchatów spotyka się waki i arenity. Te odmiany skał według E. Hycnar i A. Pękali (2010) zalegają w dwóch kompleksach różniących się wykształceniem litologicznym. Kompleks górny tworzą przede wszystkim waki, zaś w kompleksie dolnym występują głównie arenity.

4. Wytrzymałość mechaniczna skał a ich urabialność

W zasadzie wszystkie odmiany skał trudnourabialnych za złoża węgla brunatnego Bełchatów sprawiały wpięrw trudności eksploatacyjne, a potem przeróbcze. W celu rozwiązania tych problemów zachodziła potrzeba określenia stopnia ich urabialności. Było to istotne nie tylko z tego względu, ale również z racji ustalenia możliwości praktycznego ich wykorzystania do produkcji kruszywa. Jednak obecność tego typu skał powoduje duże trudności mające wpływ na wydajność koparek, ich awaryjność oraz zużycie narzędzi urabiających, a także szybsze zmęczenie konstrukcji maszyn. W efekcie czynniki te przyczyniają się do zmniejszenia wydobywania skał nadkładu, wzrostu energochłonności procesów eksploatacyjnych, a także zwiększenia jednostkowych kosztów wydobywania.

W górnictwie znajduje zastosowanie szereg klasyfikacji opartych na wartościach parametrów charakteryzujących możliwości i trudności procesów wiercenia, eksploatacji i urabiania materiałami wybuchowymi w przypadku skał – składników serii brunatnowęglowej albo opierają się na pomiarach parametrów fizyko-mechanicznych. Dlatego w górnictwie odkrywkowym zaproponowana została klasyfikacja mechaniczno-wytrzymałościowa tych skał. Jej autorem jest W. Kołkiewicz (1974). Oparta jest ona na wartościach liniowych lub powierzchniowych oporów skrawania. Jej podstawowym założeniem jest przyjęcie za kryterium podziału doraźnej wytrzymałości skał na ściskanie. Określa ją wartość współczynnika urabialności, f_p , wyliczana na podstawie zależności:

$$f_p = R_c/100,$$

w której R_c oznacza wartość wytrzymałości na ściskanie wyrażone w MPa. L. Czarnecki (2005) zaproponował uznać za odmiany trudnourabialne te skały, których wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie (R_c) przekracza 1 MPa.

Początkowo do skał trudnourabialnych zaliczono ich odmiany o nominalnych oporach kopania rzędu 40–60 kN/m. Z upływem czasu, z uwagi na stosowanie w górnictwie odkrywkowym koparek o dużo większych siłach kopania, zaczęto stosować zmodyfikowaną wersję klasyfikacji tych skał. Zaproponowali ją W. Kozioł i Ł. Machniak (2009). Pozostaje ona aktualna w przypadku eksploatacji polskich złóż węgla brunatnego (tab. 4.1). Do skał trudno-

urabialnych zaliczono w niej odmiany o nominalnych oporach urabiania powyżej 50 kN/m. Z kolei skały bardzo trudnourabialne odznaczają się oporami powyżej 90 kN/m. O przydatności tej klasyfikacji dla ocen trudnourabialności skał ze złoża Bełchatów wydaje się świadczyć fakt, że w piątej kategorii wyróżniono odmiany skał spotykanych w sytuacji złóż o budowie tektonicznej (są to: margle, wapienie a także piaskowce i zlepieńce). Odznaczają się one bardzo wysokimi nominalnymi wartościami oporów urabiania przekraczającymi 120 kN/m (tab. 4.1). Jest to zgodne z propozycją N. Wocki (2007), który również granice oporów charakteryzujących skały bardzo trudnourabialne proponuje przesunąć do wartości 120 kN/m.

Tabela 4.1. Zmodyfikowana klasyfikacja urabialności skał wg W. Koziola i L. Machniaka (2009)

Skała		Nominalne opory urabiania skał	
Kategoria	Rodzaj	kL [kN/m]	KF [kN/m]
I	łatwourabialne (piaski, żwiry, piaski gliniaste, gliny piaszczyste, humus)	0–40	0–360
II	średniourabialne (gliny, iły, węgiel brunatny)	40–60	360–540
III	trudnourabialne (gliny i iły trudnourabialne, średnio twardy węgiel brunatny)	60–90	540–800
IV	bardzo trudnourabialne (twarde gliny lodowcowe i iły, łupek ilasty, twardy węgiel brunatny)	90–120	800–1100
V	skały średnio zwięzłe (margle, wapienie, kreda, gips, zlepieńce, piaskowce, bardzo twardy węgiel brunatny)	120–150 i więcej	> 1100

W tabeli 4.2 przedstawiono klasyfikację urabialności różnych odmian skał spotykanych w profilach litologicznych złóż węgla brunatnego autorstwa W. Koziola i L. Machniaka (2014). W przypadku kopalni Bełchatów oparta ona została na geotechnicznych badaniach skał, tj. na podstawie wyliczonej wartości wskaźnika zwięzłości f_p . Skały i osady obejmują trzy grupy wyróżnione na podstawie f_p , z podziałem na mało zwięzłe, średnio zwięzłe i zwięzłe (tab. 4.2). W ich obrębie znajdują się następujące rodzaje osadów: sypkie, spoiście, półskalne i skalne. Jest to podział odbiegający od kryteriów petrograficznych. Wychodzi jednak naprzeciw specyfice litologicznej skał obecnych w brunatnowęglowym górotworze. Najniższymi wartościami wskaźnika urabialności ($f_p < 1,0$) odznaczają się skały luźne, czyli piaski, żwiry, pospółki. W przypadku skał spoiстых (gliny, iły, niektóre zwietrzliny) wartość tego współczynnika wzrasta, ale jest zbliżona do notowanych w sytuacji utworów półskalnych. Zdecydowanie największą twardością odznaczają się według tej klasyfikacji wapienie zsylikowane ($f_p = 11,6$) oraz płytowe odmiany tych skał ($f_p = 6$). Zastanawiający jest fakt, że klasyfikacja ta pomija jedną z podstawowych odmian skał trudnourabialnych spotykanych w złożu Bełchatów, a mianowicie piaskowce i zlepieńce krzemionkowe. Luki tej nie są w sta-

Tabela 4.2. Klasyfikacja urabialności różnych skał na podstawie wskaźnika zwięzłości f_p wg W. Koziola i Ł. Machniaka (2014)

Nazwa grupy	Rodzaj skały	Nazwa skały	Średni współczynnik zwięzłości
Skały mało zwięzłe	skały sypkie	piaski	0,5
		piaski pylaste	0,5–0,6
		żwiry i pospółki	0,6
		żwiry i pospółki z kamieniami	0,8
	skały spoiste	gliny zwałowe	0,4–0,5
		mułki	0,3–0,5
		mułki zawęglone	0,4
		iły	0,5–0,7
		iły warwowe	0,5
		iły zawęglone	0,4
		kreda jeziorna	0,9
		węgiel brunatny	1,5
		zwietrzeliny i rumosze	0,8
		zwietrzeliny ilasto-gliniaste	0,5
	utwory półskalne	piaskowce o spoiwie ilastym lub wapiennym	0,7
		mułowce zwietrzałe	1,2
		brekcie tektoniczne	0,6
		piaskowce o spoiwie żelazistym	1,5
Skały średnio zwięzłe	skały spoiste	iły z odławkami lub otoczkami skalnymi	1,8
		iły wzbogacone spoiwem żelazistym i manganowym	1,6
		konglomeraty iłowcowi-mułkowe	1,7
		iłowce zwietrzały	1,6
	utwory półskalne	piaski zsylikowane	2,0
	utwory skalne	zwietrzałe wapienie margliste	1,6
		zwietrzałe opoki	1,8
Skały zwięzłe	utwory skalne	iłowce wapniste, margliste	2,1
		margle	2,5
		gezy	2,8
		opoki	2,1
		wapienie skaliste	2,2
		wapienie płytowe skaliste	2,6
		wapienie gąbkowo-tuberkulinowe	2,2
		wapienie onkolitowe	3,2
		wapienie płytowe	6,0
		wapienie skaliste zsylikowane	11,6
		zlepienie	2,8

nie wypełnić piaski zsylikowane odznaczające się zresztą niską wartością f_p , a mianowicie 2 (tab. 4.2). Porównanie wartości wskaźnika urabialności wskazuje, że niescementowane utwory piaszczyste są pięciokrotnie łatwiej urabialne niż wapienie płytowe, a niemal dziesięciokrotnie w stosunku do zsylikowanych wapieni skalistych.

L. Czarnecki (2005) uważa, że w złożu Bełchatów ze względu na możliwość mechanicznego urabiania można wydzielić trzy charakterystyczne grupy skał:

- pierwsza, to skały bardzo zwarte o f_p powyżej 2, nie urabialne metodą skrawania;
- druga, to utwory średnio zwarte. Ich f_p mieści się w przedziale 1,5 do 2. Istnieje możliwość ich mechanicznego urabiania;
- trzecia, to sady mało zwarte, f_p ma wartość mniejszą od 1,5. Są urabialne mechanicznie koparkami kopalnianymi.

W. Koziół i Ł. Machniak (2009) zwracają uwagę, że ocena urabialności skał, oparta na pomiarach liniowych i powierzchniowych oporach skrawania, w praktyce jest zadaniem bardzo trudnym. Wymaga ona prowadzenia badań w czasie pracy koparek. Nie jest to zabieg łatwy do realizacji w warunkach kopalnianych. Dlatego dla dokładniejszego pomiaru oporu urabialności każdej z koparek należałoby ustalić wartość współczynnika f_p osobno dla kolejnych typów skał. Tymczasem praca koparek wielonaczyniowych nie zawsze ogranicza się do jednego poziomu eksploatacyjnego. W takiej sytuacji zachodzi potrzeba ustalenia wartości wskaźnika urabialności skał w każdym z poziomów wydobywczych, uwzględniając w nich obecność kolejnych odmian skał trudnourabialnych.

Problemem wartości stopnia urabialności wapieni mezozoicznych zajmowało się wielu autorów. W celu rozwiązania tego problemu najpierw L. Czarnecki i in. (2004), a później PROGIG (2020) zaproponowali wprowadzenie, w przypadku poszczególnych odmian petrograficznych wapieni, tzw. kodów litostratygraficznych. Korzystali oni przy tym z materiałów archiwalnych znajdujących się w JBDG. Zawiera ona informacje dotyczące gęstości tych skał, ich porowatości, nasiąkliwości i zawartości CaO. Uwzględnienie tych parametrów pozwoliło wydzielić w przypadku wapieni z Pola Szczerców serie skalne o zbliżonych wartościach wymienionych parametrów. Odmianom wapieni zaliczanych do kimerydu nadano symbole od X/10 do X/13. W odniesieniu do wapiennych sedymentów oxfordu wyróżniono cztery serie o symbolach od X/7 do X/9. Wapienne utworom oxfordu dolnego i środkowego przypisano symbole X/5 i X/6 (tab. 4.3). Z kolei inne odmiany skał kredy górnej, głównie opoki, gezy i margle reprezentowane są przez serie, którym nadano symbole X/18 i X/19.

Część wyróżnionych serii została poddana badaniom mechanicznym na potrzeby ich charakterystyki wytrzymałościowej (L. Czarnecki i in. 2004). Wymagało to określenia wartości wskaźnika wytrzymałości na ściskanie (R_c). Uzyskane wyniki pozwoliły zaliczyć wapień z Pola Szczerców do średnio urabialnych, w przypadku których wartość R_c mieści się w przedziale 5–25 MPa. Jest ona charakterystyczna dla osadów wapiennych serii X/12 (wapień onkoidowe) i X/13 (wapień margliste i margle). Jednak w przypadku tych odmian

Tabela 4.3. Kody litostratygraficzne serii geologiczno-inżynierskich skał jury górnej w Polu Szczerców według L. Czarneckiego (2004)

Litostratygrafia	Symbol serii	Charakter litologiczny
Jura górna – kimeryd	X/13	najwyższy zespół marglisty, margle, wapienie margliste
	X/12	wapienie różnoziarniste z onkoidami
	X/11a	wapienie mikrytowe, margliste
	XI/11	wapienie ziarniste z bioklastami
	XI/10	wapienie drobnoziarniste, mikroporowate z gąbkami
Jura górna – oksford	XI/9	zespół marglisty dolny
	XI/8	wapienie drobnoziarniste
	XI/7b	wapienie drobnoziarniste, mikroporowate z gąbkami
	XI/7a	wapienie mikroporowate z gąbkami
Jura górna – oksford dolny i środkowy	XI/6	wapienie drobnoziarniste z gąbkami
	XI/5	wapienie margliste i wapienie z gąbkami

wapieni stwierdzono znaczny rozrzut wartości tego parametru. Wartości maksymalne sięgały 100 MPa, a minimalne zaledwie przekraczały 4 MPa. Sytuację tę należy łączyć ze wspomnianym zróżnicowaniem właściwości fizyko-mechanicznych, za które odpowiedzialny jest charakter mineralogiczno-petrograficzny wapieni. Został on ukształtowany na etapie diagenety i epigenety wapieni, jak i związanych z nimi wtórnych procesów mineralizacyjnych, rozpuszczania pod wpływem roztworów krasowych, a także ich marglistość oraz wpływ ruchów tektonicznych powodujących spękania skał. Badania osadów serii X/10 (wapienie drobnoziarniste, mikroporowe) oraz X/11 (wapienie ziarniste, margliste) odznaczały się wartościami R_c zawartymi w przedziale 25–50 MPa. Średnia wartość tego współczynnika wyniosła 28,9 MPa, a maksymalnie osiągała niemal 50 MPa. Zatem osady tej serii zaliczyć można do średnio twardych. W przypadku skał serii X/18 i X/19 (mułowce i margle) wykazano zróżnicowanie wartości współczynnika R_c w zależności od lokalizacji wapieni. W części wschodniej Pola Szczerców są one średnio i słabo twarde, natomiast w partiach zachodnich reprezentują odmiany średnio i mocno urabialne. Ich wartość R_c wynosi około 25 MPa dla margli i nieco ponad 17 MPa dla mułowców. Wyniki badań wartości współczynnika R_c wskazują, że w przypadku około 90% masy eksploatowanego podłoża wapiennego będą stanowić one skały trudno i bardzo trudnourabialne (L. Czarnecki i in. 2004).

W. Koziół i in. (2007a) dokonali próby ustalenia ilościowego udziału wapieni pochodzących z Pola Szczerców biorąc pod uwagę wartość wytrzymałości na ściskanie R_c w przypadku odmian wyróżnionych przez kody litostratygraficzne (tab. 4.4). W sytuacji serii kredowych były to margle i mułowce, a dla odmian jurajskich serie X/11 (wapienie mikrytowe), X/12 (wapienie onkoidowe) i X/13 (zespół skał marglistych). Dla serii X/12 i X/13 średnie wartości

Tabela 4.4. Klasyfikacja skał wytrzymałościowa serii skał kredowych i jurajskich (W. Kozioł i in. 2007)

Nazwa klasy	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Serie kredowe [%]		Serie jurajskie [%]		
		margle	mułowce	seria X/11	seria X/12	seria X/13
Wyjątkowo mocna [%]	> 250	–	–	–	–	–
Bardzo mocna [%]	100–250	–	–	–	–	–
Mocna [%]	50–100	–	–	5,2	10,1	10
Średnio mocna [%]	25–50	37,5	31,6	28,9	23,6	24
Średnio słaba [%]	5–25	62,5	68,4	47,4	59,6	60
Słaba [%]	1–25	–	–	–	6,7	6
Bardzo słaba [%]	< 1	–	–	–	–	–
Liczba próbek						
Współczynnik urabialności f_p		$f_p > 2,0$	$1,5 < f_p < 2,0$	$f_p > 2,0$	$f_p > 2,0$	$f_p > 2,0$

wytrzymałości na ściskanie wyniosły odpowiednio 23,6 i 24 MPa. Jednak dla obu tych serii zastanawiający jest duży udział próbek o wytrzymałości od 50 do 100 MPa (około 10%) oraz słabo mocnych (25–50 MPa) około 24%. Maksymalne wykazane wartości R_c w przypadku tych odmian wyniosły 91,2 MPa, a minimalne 3,82 MPa. Skały serii X/11 (wapienie margliste) można zaliczyć do skał średnio mocnych. W obu przypadkach dotyczy to niemal 50% populacji. Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie tej odmiany skał wyniosły 28,9 MPa, a współczynnik urabialności tych skał przekracza 2,0.

Kredowe margle i mułowce zaliczane są do zbliżonych klas skał pod względem wartości R_c . Margle są to skały średnio mocne (37,5%) i średnio słabe (62,5%). Średnia wartość R_c w ich przypadku wyniosła 25 MPa. Podobnie pod względem wartości MPa plasują się mułowce. Zbliżony jest też ilościowy rozrzut wartości R_c , ale średnia wartość wytrzymałości na ściskanie jest niższa i nie przekracza 18 MPa. Również ta odmiana skał charakteryzuje się niższą wartością współczynnika urabialności f_p . Mieści się on w przedziale od 1,5 do 2,0, podczas gdy w przypadku margli przekracza 2,0 (tab. 4.2, 4.4).

Kolejne badania, których wyniki można zinterpretować jako miarę urabialności wapieni mezozoicznych z Pola Szczerców przeprowadzono przy okazji określenia możliwości uzyskania z nich sorbentów ograniczających emisję SO_2 . Uzyskane wyniki wytrzymałości były zawarte w szerokich granicach od 10,3 do 172,5 MPa. Zdecydowana większość próbek (ok. 90%) odznaczała się wartością R_c rzędu 70–90 MPa. Wykazane zróżnicowanie wartości R_c wynikało ze zmiennego charakteru petrograficznego wapieni, a w szczególności obecności w nich skutków procesów sylikacji i kalcytyzacji podwyższających wytrzymałość czy też efektów zjawisk krasowych, tektonicznych i marglistości obniżających wartość parametru R_c .

W. Kozioł i Ł. Machniak (2014), dokonując klasyfikacji skał obecnych w górotworze brunatnowęglowym, z uwagi na wartość wskaźnika zwięzłości f_p wśród skał zwięzłych (utwory skalne), wyróżnili: gezy, opoki i margle. Wartości f_p w ich przypadku wyniosły 2,5 dla margli, 2,8 w sytuacji gez i 2,1 dla opok (tab. 4.4). Przytaczane wartości f_p wskazują na trudności, które mogą pojawić się podczas eksploatacji tych odmian skał (f_p poniżej 2). Sytuacja ta jest spotęgowana sposobem ich zalegania wymuszającym potrzebę eksploatacji selektywnej. O ich trudnej urabialności może też świadczyć wartość współczynnika wytrzymałości na ściskanie R_c (tab. 4.4). Wynika z tego, że możliwości wykorzystania tych kopalin do produkcji kruszywa wydają się być ograniczone. Zwłaszcza dotyczy to gez, w przypadku których wartość tego współczynnika mieści się w przedziale od 20 do 30 MPa (W. Kozioł i Ł. Machniak 2014).

5. Kruszywa mineralne i zasadniczy kierunek wykorzystania skał trudnourabialnych

Wstępne decyzje o przydatności surowcowej i kierunkach gospodarczego wykorzystania skał trudnourabialnych zapadają na etapie ich eksploatacji. Mogą one być następujące:

- w stanie naturalnym, po wstępnym rozdrobnieniu, kierowane są na bieżący użytek kopalni;
- przekazane do produkcji kruszywa;
- przetransportowane na złoża wtórne.

Kruszywa mineralne to aktualnie zasadniczy kierunek wykorzystania skał trudnourabialnych. Ich wytwarzanie wymaga dysponowania przez kopalnię odpowiednim zapleczem technologicznym. Początkowo w latach 90. XX stulecia, po niewielkich przeróbkach, służyła temu instalacja pomocna do przetwarzania kredy jeziornej. Wykorzystywano ją do 1993 r., a przetwarzała ona głównie bruki krzemienne (K. Niedziałkowski 2001).

Jednak rosnące zapotrzebowanie na kruszywo spowodowało, że kopalnia Bełchatów rozpoczęła budowę Zakładu Produkcji Kruszyw zlokalizowanego w Rogowcu. Został on zaprojektowany przez PPH PROSKAL w Krakowie. Początkowo przetwarzane były w nim tylko bruki krzemienne. Później przetwórstwem objęto również inne zwięzłe odmiany skał trudnourabialnych: głązy narzutowe, wapienie mezozoiczne, piaskowce i zlepienie krzemionkowe, a także dokonywano recyklingu betonu. Z upływem czasu po uruchomieniu wydobywania węgla w Polu Szczerców problem ten zaczęto rozwiązywać dzięki zestawowi krusząco-sortującemu funkcjonującemu w Chabielicach. Posiada on dwie linie technologiczne służące do produkcji kruszywa oraz piasków płukanych.

Dążąc do kompleksowego i pełnego rozwiązania problemu produkcji kruszywa kopalnia dokonała zakupu:

- ładowarek chwytakowych służących załadunkowi kruszywa;
- mobilnej kruszarki jezdnej;
- mobilnego przesiewacza jezdnego.

Według K. Niedziałkowskiego (2001) o inwestycjach tych zdecydowały czynniki wynikające z:

- charakteru procesów urabiania, transportu i składowania każdej z odmian skał trudnourabialnych;

- rosnących kosztów zakupu i transportu kruszywa niezbędnego do funkcjonowania kopalni;
- braku złóż kopalin skalnych przerabianych na kruszywo, a zlokalizowanych w bliskim otoczeniu kopalni.

W czasie wieloletniego funkcjonowania zakłady przeróbcze były wielokrotnie modernizowane. Wynikało to z potrzeby przystosowania procesów przeróbczych do zróżnicowanych pod względem właściwości fizyko-mechanicznych skał trudnourabialnych, jak i konieczności spełnienia wymogów jakościowych wytwarzanego kruszywa. Na wielkość produkcji kruszywa wpływ mają:

- dostępność kopalin, tzn. skał trudnourabialnych;
- popyt stymulowany głównie przez eksport;
- potrzeba produkowania rozmaitych odmian kruszywa pod względem właściwości użytkowych.

Zakłady przeróbcze wytwarzają szeroki asortyment wyrobów obejmujący 21 odmian kruszyw łamanych i 8 niełamanych. Produkty te w zależności od technologii przetwarzania można podzielić na:

- kruszywa łamane uzyskiwane w wyniku przeróbki głazów narzutowych (granitowych, gnejsowych, kwarcytowych), piaskowców i zlepieńców krzemionkowych oraz wapieni mezozoicznych;
- kruszywa niełamane otrzymywane jako rezultat przeróbki (płukania, przesiewania, sortowania) bruków krzemiennych.

Zakłady przeróbcze w celu uzyskania kruszywa stosują dwa ciągi technologiczne. Pierwszy umożliwia przetwarzanie na mokro, a drugi stosowanie metody suchej. Efektem pierwszego jest uzyskiwanie kruszywa płukanego, tj. piasków i żwirów, a także grysów granitowych. Te ostatnie wykorzystuje się nie tylko w charakterze kruszywa, ale używa też do produkcji betonów. Natomiast drugi ciąg technologiczny zapewnia wytwarzanie kruszywa łamanego: tłucznie i kłince wapienne, kwarcytowe, granitowe, a także grysy granitowe i krzemienne (H. Daniluk i R. Witek 2012).

Zakończenie

1. Złoże węgla brunatnego Bełchatów jest przykładem złoża wielokopalinowego. Wykazano w nim obok węgla obecność około 20 odmian tzw. skał płonnych, niewęglowych. Już na etapie prac dokumentacyjnych, a potem w trakcie dokumentowania i eksploatacji węgla, stanowiły one przedmiot zainteresowania geologiczno-złożowo-surowcowego. Czynności te zmierzały do identyfikacji warunków ich zalegania, a także właściwości surowcowych. Mimo wieloletnich wysiłków badawczych i organizacyjnych, nie tylko kopalni, zabiegi te nie doprowadziły do konkluzji, których treść stanowiłaby podstawę do traktowania tych skał jako kopalin towarzyszących. A taka sytuacja stanowiłaby gwarancję ich praktycznego wykorzystania.
2. Uzyskane rezultaty badawcze dotyczące skał płonnych w kontekście traktowania ich jako kopalin towarzyszących były niezadawalające. Tym nie mniej mimo niespełnienia rygorów prawnych, a niekiedy złożowo-surowcowych zaczęto je nazywać kopalinami towarzyszącymi. Z czasem okazało się, że nie był to jednak koniec „odysei” surowcowej tych kopalin. Wynikało to stąd, że część z nich odznaczała się specyficznymi warunkami zalegania, jak i nietypowymi właściwościami fizyko-mechanicznymi. Były to odmiany, które ze względu na swą dużą twardość a także nieprzewidywalność zalegania, zaczęto nazywać trudnourabialnymi. Sprawiły one trudności eksploatacyjne. Rozwiązanie tych problemów wychodziło naprzeciw i próbowało udzielić odpowiedzi na pytanie, czy ich obecność w górotworze brunatnowęglowym to problem eksploatacyjny czy surowcowy? Wymaga to kompleksowych badań. Powinny one obejmować rozpoznanie geologiczno-złożowych warunków zalegania, zarówno na etapie dokumentowania jak i eksploatacji złoża. Paralelnie z tym zachodzi potrzeba badań zmierzających do ustalenia ich własności surowcowych.
3. Przeprowadzone badania i ich wyniki należy rozpatrywać również w kontekście sformułowań stanowiących treść Prawa geologicznego i górniczego, a dotyczących kopalin towarzyszących. W przypadku ich obecności w złożu zachodzi potrzeba określenia rodzaju, ilości i jakości. Doświadczenia wskazują, że czynności te dotyczyć powinny kopalin obecnych w całym profilu litostratygraficznym złoża. Powinny mieć charakter badań kompleksowych., prowadzonych „od spągu do stropu”.
4. Ten kompleksowy, a zarazem racjonalny sposób rozwiązywania problematyki kopalin towarzyszących w złożu ma podstawy, aby zmierzać do realizacji tzw. wielosurow-

cowych dokumentacji geologicznych. Są one w stanie zagwarantować poprawę stanu i stopnia zagospodarowania kopalin w złożach wielokopalinowych. Taki sposób rozwiązywania tych problemów posiada jeszcze jeden aspekt. Jego realizacja będzie w stanie dostarczyć argumentów w odpowiedzi na stawiane niekiedy pytanie „co dalej po węglu brunatnym?”. Rezultaty przeprowadzonych badań wskazują, że zakończenie eksploatacji węgla niekoniecznie powinno oznaczać zamknięcie zagłębia surowcowego. Obecność kopalin towarzyszących sprawia, że istnieją przesłanki do rozwoju przemysłu surowcowego opartego na innych niż węgiel kopalinach.

5. Praca dotyczy skał trudnourabialnych obecnych w złożu węgla brunatnego Bełchatów. Jednak zaproponowana metodyka badań i uzyskane wyniki mają w pewnym sensie charakter uniwersalny. Mogą znaleźć zastosowanie w przypadku innych zagłębi brunatnowęglowych (co jest dyskusyjne z racji końcowej fazy ich funkcjonowania) ale przede wszystkim w przypadku innych, niewęglowych złóż wielokopalinowych.

Literatura

- Adamczyk K., Jończyk W.M., Skórzak A. 2012a: Kopaliny towarzyszące eksploatowanemu złożu węgla brunatnego Bełchatów, historia dokumentowania i zagospodarowania. *Górnictwo Odkrywkowe* t. LIII, nr 1–2, s. 25–41.
- Adamczyk K., Jończyk W.M., Skórzak A. 2012b: Wapienie z Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. LIII, nr 1–2, s. 47–54.
- Bahranowski K., Gawel A., Górniak K., Ratajczak T., Szydłak T., Jończyk W.M. 1997: Litologia i geneza zsylikowanych osadów grubo okruchowych z kompleksu ilasto-piaszczystego złoża węgla brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XXXIX, nr 1, s. 28–47.
- Bojczuk J., Bajcar A. 2007: Kopalnia węgla brunatnego Bardingsar w Indiach. Najważniejsze zagadnienia technologii i wydobywania, przeróbki i transportu węgla oraz odwodnienia. *Górnictwo i Geoinżynieria* t. 21, z. 2, s. 113–122.
- Ciuk E. 1966: Złoża węgla brunatnego w Polsce i perspektywy ich poszukiwań. *Przegląd Geologiczny* nr 5.
- Ciuk E. 1974: Schematy litostratygraficzne trzeciorzędu Niżu Polskiego. *Kwartalnik Geologiczny* t. 17, nr 4.
- Czarnecki L., Frankowski R., Ślusarczyk G. 1992: Syntetyczny profil litostratygraficzny rejonu Bełchatowa dla potrzeb Bazy Danych Geologicznych. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XXXIX, nr 3–4.
- Czarnecki L., Specylak-Skrzypecka J., Ślusarczyk G., Bednarz A., Borowicz A. 2004: Możliwości prognozy oraz jakościowa charakterystyka masywu skalnego w wyrobisku górniczym KWB Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLVI, nr 7–8.
- Czarnecki L. 2005: Geologiczne uwarunkowania prognozy rejonów występowania gruntów skalistych w wyrobiskach górniczych KWB Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLVII, nr 6, s. 47–52.
- Czarnecki L., Sośniak E. 2007: Uwarunkowania geotechniczne prowadzenia robót górniczych w KWB Bełchatów. Materiały „VIII Warsztaty górnicze z cyklu Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Ślesin, k. Konina.
- Czarnecki L., Frankowski R., Organiściak B. 2010: 50 lat pracy geologów na złożu Bełchatów. Kalendarium. Wydawnictwo PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów. Dział Geologiczny, s. 7–74.
- Daniluk M., Witek R. 2012: Przeróbka kopaliny towarzyszącej w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. LIII, nr 1–2, s. 76–92.
- Dziedzic P. 2022: Złoża antropogeniczne jako alternatywne źródła surowców niezbędnych dla właściwego funkcjonowania krajowej gospodarki oraz wzmocnienia roli służby geologicznej w przedmiocie dokumentowania złóż kopaliny. Materiały XXII Seminarium na temat „Tradycje i perspek-

- tywy poszukiwania i dokumentowania geologicznego złóż na Dolnym Śląsku”. Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor, Wrocław.
- Frankowski R., Sośniak E. 2005: Technologia eksploatacji a budowa geologiczna złoża Bełchatów. Materiały IV Międzynarodowego Kongresu Węgla Brunatnego, Bełchatów.
- Frankowski R., Gądek A., Bednarz A., Borowicz A., Specylak-Skrzyńska J., Ślusarczyk G. 2005: Geologiczno-górnictwo warunki zalegania bruków krzemienych w O/Szczerców. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLVII, nr 2, s. 58–63.
- Górnica K., Bahranowski K., Ratajczak T., Szydłak T. 1996: Regeneracja ziarn kwarcu w piaszczystych glebach korzeniowych w złożu węgla brunatnego Lubstów koło Konina. *Przegląd Geologiczny* t. 44, nr 6, s. 626–630.
- Gruszczak H. 1983: Geologia złóż. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Hycnar E. 2015: Structural-textural nature and sorption properties of limestones from the Mesozoic–Neogene contact zone in the Bełchatów deposit. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 31, z. 4, s. 75–94, DOI: 10.1515/gospo-2015-0033.
- Hycnar E. 2018: The structural and textural characteristics of limestones and the effectiveness of SO₂ sorption in fluidized bed conditions. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 34, z. 1, s. 5–24, DOI: 10.24425/118639.
- Hycnar E., Gilarska A., Wisła-Walsh E., Zych L., Sikora M. 2007: Wapienie ze strefy kontaktu trzeciorzęd – mezozoik w złożu węgla brunatnego Bełchatów (Pole Szczerców) i możliwości ich wykorzystania jako sorbentów do obniżenia emisji SO₂. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLIX, nr 7, s. 24–29.
- Hycnar E., Pękala A. 2010: Waki i arenity ze strefy kontaktu mezozoik-trzeciorzęd w złożu węgla brunatnego Bełchatów – procesy diagenety i charakter mineralogiczno-petrograficzny. *Górnictwo Odkrywkowe* R. 51, nr 2, s. 56–59.
- Jakiel K., Madej J., Radomiński J. 2004: Wyniki eksperymentalnych badań grawimetrycznych dla określenia morfologii stropu podłoża serii węglowej i występowania skał trudnourabialnych w KWB Bełchatów. *Symposja i Konferencje* nr 62. Wydawnictwo IGSMiE PAN, s. 153–157.
- Jończyk W.M., Skórzak A., Specylak J., Ślusarczyk G. 2003: Bruki krzemienne w nadkładzie złoża węgla brunatnego Bełchatów – Pole Szczerców, kopalina towarzysząca czy utrudnienia w eksploatacji. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLV, nr 3–4, s. 19–23.
- Kasztelawicz Z., Zajączkowski M., Sikora M. 2013: Technologia urabiania utworów trudnourabialnych na przykładzie Kopalni South Field w Grecji. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 85, s. 171–180.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. 2009. *Rocznik PTG* 60, 2, s. 5–16.
- Końkiewicz W. 1974: Zastosowanie maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym. Wyd. Śląsk.
- Kozioł W., Ciepliński A., Kaczburski J. 1994: Eksploatacja i wykorzystanie trudnourabialnych kopalni towarzyszących w górnictwie węgla brunatnego. *Prace Naukowe Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Seria Konferencje* t. 74, 16, s. 175–187.
- Kozioł W., Sośniak E., Jończyk W.M., Machniak L. 2007a: Eksploatacja skał trudnourabialnych towarzyszących złożu węgla brunatnego Bełchatów z możliwością ich przemysłowego wykorzystania. *Górnictwo i Geoinżynieria* t. 31, nr 2, s. 399–412.
- Kozioł W., Machniak L., Sośniak E., Jończyk W.M. 2007b: Wydobywanie skał trudnourabialnych w kopalniach węgla brunatnego. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLIX, nr 5–6, s. 119–124.

- Kozioł W., Machniak Ł. 2009: Wybrane technologie wydobywania skał trudnourabialnych w kopalniach węgla brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria* t. 33, nr 2, s. 263–283.
- Kozioł W., Machniak Ł., Sośniak E., Chałupka R. 2011: Technologia wydobywania skał nadkładowych trudnourabialnych na przykładzie KWB Bełchatów. *Górnictwo i Geoinżynieria* t. 35, nr 3, s. 165–180.
- Kozioł W., Machniak Ł. 2014: Klasyfikacja urabialności jako narzędzie do wstępnego doboru techniki urabiania skał w kopalniach węgla brunatnego. Materiały VIII Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Węgla Brunatnego „Węgiel brunatny – szanse i zagrożenia”. Wyd. Wyd. Górnictwa i Geoinżynierii AGH, s. 219–229.
- Nieć M. 1994: Kopaliny towarzyszące. *Przegląd Geologiczny* t. 42, nr 5, s. 330–334.
- Nieć M., Uberman R. 2001: Problemy formalnoprawne gospodarki kopalinami towarzyszącymi i surowcami mineralnymi. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLIII, nr 2–3, s. 10–25.
- Nieć M., Uberman R., Galos K. 2018: Okruchowe antropogeniczne złoża kopalin. *Górnictwo Odkrywkowe* t. 59, nr 3, s. 31–37.
- Niedziałkowski K. 2001: Zakład produkcji kruszyw w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. 43, nr 2–3, s. 61–73.
- Olech B., Sośniak E. 2016: Technologia urabiania utworów trudnourabialnych w wyrobiskach Górniczych Pola Szczerców. Materiały IX Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Węgla Brunatnego, s. 379–386.
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. 1972: Sand and sandstone. Springer-berlanmd. New York.
- Ratajczak T., Kosk I., Pabiś J. 2002: Osady zwiertzelinowe ze strefy kontaktowej trzeciorzęd – mezozoik w złożu węgla brunatnego Bełchatów – ich litologia, charakter surowcowy i możliwości wykorzystania. *Sympozja i Konferencje* nr 56, Wydawnictwo IGSMiE PAN, s. 243–258.
- Ratajczak T., Hycnar E., Uberman R. 2017: Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego. Wydawnictwo IGSMiE PAN, t. I i II, 345 stron.
- Sośniak E., Maciejewski R. 2012: Technologia robót górniczych na poziomie Pola Bełchatów dla odsłonięcia i urabiania piaskowców kwarcytowych. *Górnictwo Odkrywkowe* t. LIII, nr 1–2, s. 73–75.
- Stachura E., Ratajczak T., 2005: Substancja mineralna w węglu brunatnym ze złoża Bełchatów (pole Bełchatów). *Prace geologiczne* 153, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Nauk Geologicznych, 94 s.
- Stefanowicz J.A. 2018: Niedostatki regulacji projektowania prac geologicznych i dokumentowania złóż ze szczególnym uwzględnieniem rozpoznawania i dokumentowania kopalin towarzyszących i współwystępujących. *Górnictwo Odkrywkowe* t. 59, nr 3, s. 15–27.
- Szamałek K. 2001: Kopaliny towarzyszące, wydobywanie, składowanie i zbywanie w świetle obowiązującego prawa. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLIII, nr 2–3, s. 1–9.
- Szamałek K., Stefanowicz J., Nieć M. 2019. Dostosowanie przepisów prawa do obecnych i przyszłych potrzeb działalności geologicznej i górniczej. *Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi w Polsce*, Ryto.
- Uberman R., Nieć M. 2014: Kopaliny towarzyszące – problemy dokumentowania, wydobywania i opłat eksploatacyjnych. *Górnictwo Odkrywkowe* t. LV, nr 2–3, s. 32–39.
- Widera M. 1999: Ocena przydatności surowcowej skał mezozoicznych z odkrywki Adamów. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLI, nr 1, s. 19–27.
- Widera M. 2021: Geologia polskich złóż węgla brunatnego. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań.

- Widera M., Dzieduszyńska D., Petera J. 2022: Geological and palaeogeographical peculiarities of the Adamów Graben area, central Poland. *Geologos* t. 28, nr 1, s. 1–17.
- Wilczyński W. 1992: Dotychczasowe wyniki badań podstawowych w serii poznańskiej w świetle geologiczno-inżynierskich problemów prowadzenia robót górniczych w KWB Bełchatów. *Acta Universita Wratislaviensis, Prace Geologiczno-Mineralogiczne* t. 26, s. 91–107.
- Wiśniewski W. 2000: Zagospodarowanie kopalin towarzyszących. [W:] KWB Bełchatów. Od przedsiębiorstwa do spółki akcyjnej. 25 lat 1975–2000. Wydawnictwo Druk-Nitro, Inowrocław, s. 109–117.
- Wocka N. 2007: Niektóre problemy urabiania wielonaczyniowego koparkami kołowymi w warunkach oporów skrawaniem. *Konferencja „Problemy urabiania i przeróbki skał*. Kielce 1988.
- Wyrwicki R. 2002: Kopalina główna, towarzysząca i współwystępująca. *Górnictwo Odkrywkowe* t. XLIV, nr 2, s. 32–33.
- Zajączkowski M., Sikora M., Kasztelewicz Z. 2016. Możliwości zastosowania systemu IPCC do eksploatacji utworów trudnourabialnych w kopalniach węgla brunatnego. *IX Międzynarodowy Kongres Węgla Brunatnego „Węgiel brunatny gwarantem bezpieczeństwa energetycznego”*, s. 611–619.

Prace archiwalne

- Analiza występowania w nadkładzie gruntów trudnourabialnych w rejonie linii 87/80 NS. Archiwum COB-P Górnictwa Odkrywkowego POLTEGOR, 1985.
- Dodatek do Dokumentacji Geologicznej złoża węgla brunatnego Bełchatów – pole Szczerców w kat. C1+B. 1994. Zakład Geologii Stosowanej Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Geologiczne i górnicze zabezpieczenie eksploatacji skał trudnourabialnych na frontach wydobywczych odkrywki Bełchatów. Etap I i II (red. T. Ratajczak) Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 1996.
- Instrukcja urabiania skał trudnourabialnych. Archiwum COB-P Górnictwa Odkrywkowego POLTEGOR, 1985.
- Kompleksowa Dokumentacja Geologiczna złoża węgla brunatnego Bełchatów w kat. C1 + B (rejon wkopu). Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu, 1964.
- Kompleksowa Dokumentacja Geologiczna złoża węgla brunatnego Bełchatów w kat. C1 + B. Pole Szczerców. Kombinat Geologiczny Zachód, 1977.
- Kompleksowa Dokumentacja Geologiczna złoża węgla brunatnego Bełchatów w kat. C1 + B. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu, 1983.
- Książka kontroli zabezpieczenia przed zniszczeniem kopalin towarzyszących oraz możliwości ich wykorzystania. Dział Geologiczny KWB Bełchatów, 2012.
- Petrografia i geochemia skał trudnourabialnych z KWB Bełchatów (red. T. Ratajczak). Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 1998.
- Procedura eksploatacji i zagospodarowania kopalin towarzyszących. Dział Geologiczny KWB Bełchatów, 2012.
- Prognoza warunków geologicznych na przedpolu frontów eksploatacyjnych Pola Szczerców na lata 2019–2020 (red. L. Sawicki). Archiwum Biura Projektów Górniczych i Geologicznych, PROGIG, 2020.

- Wykonanie badań jakościowych dla próbek wapieni pobranych w wyniku wykonywania otworów wiertniczych w Polu Szczerców. Etap I i II (red. T. Ratajczak, E. Hyncar). Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 2014.
- Występowanie gruntów trudnourabialnych i bruków w odkrywce Bełchatów. Technologia urabiania, transportu i zwałowania skał zwięzłych. Archiwum COB-P Górnictwa Odkrywkowego POLTEGOR, 1987.
- Wykonanie badań jakościowych dla próbek wapienia pobranych w wyniku wykonania otworów wiertniczych w Polu Szczerców, w rejonie prognozowanej lokalizacji kamieniołomu (red. T. Ratajczak, E. Hyncar). Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 2013 rok.
- Zasoby i rozmieszczenie bruków krzemiennych zalegających na powierzchniach erozyjnych na Polu Szczerców oraz możliwości ich przemysłowego wykorzystania (red. L. Sawicki). Archiwum Biura Projektów Górniczych i Geologicznych PROGIG, 2007.

Źródła prawa

- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska.
- Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 lutego 2012 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 kwietnia 2013 r. w sprawie szczegółowych wymagań prowadzenia ruchu odkrywkowego zakładu górniczego.
- Zasady dokumentowania złóż kopalin stałych. Ministerstwo Środowiska. Warszawa, 2002.
- Standardy gospodarowania złożami kopaliny w odkrywkowych zakładach górniczych. Wyższy Urząd Górniczy. Katowice, 2012.

Złoże węgla brunatnego Bełchatów jest przykładem złoża wielokopalinowego. Obok węgla wykazano tutaj obecność około 20 odmian innych skał, z których część określana jest mianem kopalin towarzyszących. Praca dotyczy szczególnego typu kopalin – skał trudnourabialnych, odznaczających się znaczną wytrzymałością mechaniczną. Sprawiają one przez to trudności eksploatacyjne, spotęgowane często sposobem zalegania. Należą do nich głazy narzutowe, pospółka piaszczysto-żwirowa (bruki krzemienne), piaskowce i zlepieńce krzemionkowe oraz wapienie mezozoiczne. Prezentowane rezultaty mają charakter uniwersalny. Mogą znaleźć zastosowanie zarówno w przypadku innych zagłębi brunatnowęglowych, jak i innych, niewęglowych złóż wielokopalinowych. Zaprezentowano kompleksowy i zarazem racjonalny sposób rozwiązywania problematyki kopalin towarzyszących zmierzający do realizacji tzw. wielosuwrowcowych dokumentacji geologicznych. Są one w stanie zagwarantować poprawę stanu i stopnia zagospodarowania kopalin w złożach wielokopalinowych, a także dostarczyć argumentów w odpowiedzi na stawiane niekiedy pytanie „co dalej po węglu brunatnym?”. Rezultaty przeprowadzonych badań wskazują, że zakończenie eksploatacji węgla niekoniecznie powinno oznaczać zamknięcie zagłębia surowcowego. Obecność kopalin towarzyszących sprawia, że istnieją przesłanki do rozwoju przemysłu surowcowego opartego na innych niż węgiel kopalinach.