



Elżbieta HYCNAR¹, Marek Waldemar JOŃCZYK², Tadeusz RATAJCZAK³

Klasyfikacja geologiczno-inżynierska i możliwości surowcowego wykorzystania skał trudnourabialnych ze złoża węgla brunatnego Bełchatów

Streszczenie: Trzeciorzędową formację brunatnowęglową w Bełchatowie, obok węgla, budują skały plastyczne, słabo zwięzłe oraz luźne. Ze względu na swoje parametry fizyko-mechaniczne nie stwarzają problemów eksploatacyjnych. Miejscami w ich obrębie pojawiają się odmiany skał o odmiennym charakterze litologicznym i właściwościach fizyko-mechanicznych, powodujących trudności podczas urabiania skał nadkładu. Zalicza się do nich wapienie mezozoiczne, piaskowce i zlepieńce trzeciorzędowe oraz czwartorzędowe żelaziste skały okruczowe. W artykule dokonano charakterystyki litologicznej oraz podano wartości podstawowych parametrów fizyko-mechanicznych tych skał. Są one podstawą klasyfikacji geologiczno-inżynierskiej oraz decydują o ich trudnourabialności. Omówiono również możliwości ich surowcowego wykorzystania.

Słowa kluczowe: kopaliny towarzyszące, skały trudnourabialne, przydatność surowcowa, złożo Bełchatów

Geological and engineering classification and the possibilities of raw material utilization of hardly workable rocks from the Bełchatów lignite deposit

Abstract: The Tertiary lignite formations in the Bełchatów deposit, along with coal, are built of plastic, weakly compact and loose rocks. Their physical and mechanical parameters, don't pose operational problems. However, varieties of a different lithological character and physical-mechanical properties rocks, causing difficulties when mining the overburden rocks, appear within them. These include: Mesozoic limestones, Tertiary sandstones and conglomerates, as well as Quaternary iron feldspar rocks. The article features a lithological characterization as well as values of basic physico-mechanical parameters. They form the basis of the geological engineering classification and decide about their difficult workability. The possibilities of their raw material utilization were also discussed.

Keywords: accompanying minerals, hardly workable rocks, raw material usefulness, Bełchatów field

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: hycnar@geol.agh.edu.pl

² PGE Górnictwo Energetyka Konwencjonalna, Oddział KWB Bełchatów.

³ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

1. Geologia złoża Bełchatów a skały trudnourabialne

Obecność węgla brunatnego w Polsce należy rozpatrywać na tle ogólnego charakteru budowy geologicznej trzeciorzędowej formacji brunatnowęglowej. Determinuje ona nie tylko ilość złóż i ich lokalizację, ale również jakość i zasoby węgla. Przynależność do tej formacji ma także wpływ na charakter litologiczny skał niewęglowych zalegających w stropie, w spągu czy przewarstwiających pokłady węgla.

Krajowe złoża węgla brunatnego cechuje zbliżona i raczej nieskomplikowana budowa geologiczna. Zalicza się je do odmian wielokopalinowych, tzn. zbudowanych z kopaliny głównej oraz różnych odmian skał niewęglowych. Pokłady węgla zalegają na głębokościach umożliwiających odkrywkowy system eksploatacji. Ich udostępnianie i wydobywanie wymaga zdejmowania skał nadkładu, a w niektórych przypadkach odsłanianie są również utwory podłoża.

Profil litostratygraficzny trzeciorzędu w rejonie Bełchatowa obejmuje cztery kompleksy skalne: podwęglowy, węglowy, węglowo-ilasty i ilasto-piaszczysty. Nadkład tych serii stanowią osady czwartorzędowe. W podłożu trzeciorzędu zalegają sedymenty jury i kredy oraz skały tzw. kompleksu wietrzeniowego. Analiza profilu litostratygraficznego osadów nadi podwęglowych wskazuje na dominację skał plastycznych, częściowo zwięzłych, a także sypkich. Są to zróżnicowane genetycznie, strukturalnie, litologicznie i mineralogiczno-petrograficznie skały ilaste, piaski i żwiry. Rzadziej pojawiają się utwory lite – węglanowe, piaskowcowe czy zlepieńcowate. W większości przypadków charakter litologiczny skał niewęglowych nie powoduje trudności podczas urabiania z wykorzystaniem koparek. Jednak pojawiają się wśród nich odmiany skał o odmiennym charakterze litologicznym i właściwościach fizyko-mechanicznych, powodujących duże opory urabiania, przekraczające nominalną siłę koparek wielonaczyniowych, pracujących w układach wydobywczych. Stwarzają przez to poważne trudności w procesie zdejmowania nadkładu, zmniejszając wydajności koparek. Jest to przyczyną zmniejszenia wielkości wydobycia, wzrostu energochłonności tego procesu i co za tym idzie – kosztów eksploatacji. Skały te nazywa się trudnourabialnymi. Ich definicję podaje Kozioł i in. (2007). Skały trudnourabialne w mniejszych lub większych ilościach występują we wszystkich czynnych krajowych kopalniach węgla brunatnego (Ślusarczyk i in. 1995).

W złożu Bełchatów skały trudnourabialne dzieli się na:

- mezozoiczne – zalegające w podłożu utwory jurajskie (wapienie i margle) i kredowe (wapienie, wapienie margliste, margle, opoki, mułowce);
- trzeciorzędowe – zsylikowane piaskowce i zlepieńce;
- czwartorzędowe – zlepieńce i piaskowce żelaziste;
- skrzemieniałe fragmenty pni drzew mioceńskich – występujące wśród piasków kompleksu ilasto-piaszczystego oraz osadów kompleksu węglowego (Kozioł i in. 2007, 2011).

Ponadto zalicza się do nich również głązy narzutowe, skały pochodzenia lodowcowego występujące wśród glin zwałowych i na powierzchniach erozyjnych. Dominują wśród nich skały magmowe (granity, sjenity, dioryty i gabra) oraz przeobrażone (granitognejsy, gnejsy). Wprawdzie stanowią je odmiany skał litych o znacznej wytrzymałości mechanicznej, ale warunki zalegania nie zawsze stwarzają utrudnienia eksploatacyjne.

Problem skał trudnourabialnych jest aktualny niemal w całym światowym górnictwie węgla brunatnego. Przykładowo w greckiej kopalni South Field utrudnienia eksploatacyjne stwarza obecność w nadkładzie piaskowców, zlepieńców oraz osadów krasu wapiennego (Kasztelewicz i in. 2013).

2. Skały mezozoiczne

2.1. Geologiczne warunki zalegania, litologia

Ze względu na usytuowanie złoża Bełchatów w rowie tektonicznym oraz znaczną głębokość zalegania węgla, konieczna jest eksploatacja mezozoicznych skał wapiennych budujących zbocza wyrobisk. Zbocza te, z uwagi na swój tektoniczny charakter, cechuje obecność stromych uskoków o zrzutach dochodzących do 400 metrów. Skały charakteryzują się obecnością silnego, wielokierunkowego ciosu, prowadzącego do ich dezintegracji. Część z nich przybiera charakter brekcji tektonicznych i spękaniaowych, którym towarzyszą nagromadzenia zwietrzelin i rumoszu. W partiach przystropowych wapieni widoczne są przejawy krasu powierzchniowego i podziemnego. Leje i kanały krasowe wypełnia rumosz ilasto-piaszczysty oraz brekcje. Te same zjawiska są powodem istnienia dużych deniwelacji stropu wapieni.

Skomplikowana tektonicznie struktura zalegania wapiennych serii skalnych, ich tektoniczne zaangażowanie, będące efektem nakładających się procesów geologicznych, a ponadto cechy fizyko-mechaniczne tych skał, w szczególności ich wytrzymałość na ściskanie, powodują, że utwory te zalicza się do trudnourabialnych, wymagających szczególnego nadzoru podczas prowadzenia prac górniczych.

Wapienie po raz pierwszy zostały odsłonięte w 1979 roku. Były to wapienie jury górnej w południowym zboczu odkrywki. W 1995 roku został opracowany projekt ich eksploatacji i rozpoczęto ich wydobywanie z wychodni zlokalizowanej w rejonie antykliny Łękińska. W 2009 roku zapoczątkowano eksploatację wapieni ze zbocza północnego Pola Szczerców. W 2011 roku odsłonięto strop wapieni jurajskich we wschodniej części Pola Szczerców (Adamczyk 2012a).

2.2. Charakter petrograficzny skał mezozoicznych

Charakterystyka litologiczna i petrograficzna skał mezozoicznych stanowiła przedmiot badań wielu autorów (Kozioł i in. 2007; Adamczyk i in. 2012b; Ratajczyk i Hycnar 2017). Prezentowane są w nich wyniki wieloletnich prac terenowych i laboratoryjnych prowadzonych przez zespół pracowników naukowych AGH i Biura Projektów Geologicznych i Górniczych sp. z o.o. z Wrocławia, które zmierzały do opracowania zarysu litostratygrafii utworów mezozoicznych złoża Bełchatów.

Utwory mezozoiczne złoża stanowią osady kredy i jury. Utwory kredowe to głównie wapienie, niekiedy margliste, margle, a rzadziej gezy, opoki i mułowce. Osady jury to głównie

wapienie mikrytowe odznaczające się dużą zwięzłością i małą porowatością. Przelawicają je margle. Zarówno w obrębie wapieni, jak i margli widoczne są procesy sylikacji przejawiające się występowaniem krzemieni oraz efekty zażelazienia. Są one dużo twardsze od utworów kredowych. Stąd głównie w ich przypadku adekwatny jest termin „trudnourabialne”.

Trudnourabialne wapienie bełchatowskie są skałami o najczęściej białej barwie. Makroskopowo wykazują teksturę masywną i zbitą. Porowatość tych skał, obserwowana w badaniach mikroskopowych, związana jest z obecnością porów krasowych, różnego rodzaju pęknięć i szczelin tektonicznych i kompakcyjnych z powszechnie występującymi „szwami stylolitowymi”. Na etapie diagenety i epigenety zostały one zabudowane, najczęściej cementem węglanowym, krzemionką, a także siarczkami żelaza. Zjawiska te wpłynęły na obniżenie porowatości, stąd oceniana jest ona zaledwie na 5% obj. skały.

Podstawową rolę skałotwórczą w wapieniach pełnią skalcytyzowane szczątki gąbek, w mniejszym stopniu mszyciów, szkarłupni czy otwornic. Zawartość składników allochemicznych jest zróżnicowana. Zawiera się w przedziale od 10 do 40% obj. skały. Zgodnie z kasyfikacją Folka (1959) skały te należy zaliczyć do allochemicznych wapieni mikrokrystalicznych. Udział składników allochemicznych pozwala wyróżnić wśród nich odmiany organogeniczne (dominujące, stanowiące 80% populacji), organodetrytyczne i ooidowe. W składzie mineralnym wapieni składnikiem absolutnie dominującym jest kalcyt (powyżej 85% obj. skały). W zdecydowanie mniejszych ilościach obecne są minerały z grupy krzemionki (głównie chalcedon, opal, rzadziej kwarc mikrokrystaliczny) a także piryt. Ten z kolei przyjmuje urozmaicone formy morfologiczne począwszy od bezpostaciowych poprzez framboidalne do idiomorficznych. Obecność tych minerałów należy wiązać z wtórnymi procesami mineralizacyjnymi, zachodzącymi na etapie diagenety i epigenety skalnej (Hycnar 2016). Skład chemiczny wapieni mezozoicznych południowego części Pola Szczerców przedstawia tabela 1.

TABELA 1. Skład chemiczny wapieni pochodzących z południowej części Pola Szczerców wg Hycnar i in. (2007)

TABLE 1. The chemical composition of limestone from the southern slope of Szczerców Field in the Bełchatów deposit

| Składnik | Zawartość [% wag.] |
|--------------------------------|---------------------|
| SiO ₂ | 0,00–7,11 (1,46) |
| TiO ₂ | n.o. |
| Al ₂ O ₃ | 0,00–1,01 (0,10) |
| Fe ₂ O ₃ | 0,00–1,09 (0,08) |
| CaO | 51,07–55,55 (54,43) |
| MgO | 0,01–0,78 (0,28) |
| MnO | 0,00–0,31 (0,02) |
| Na ₂ O | 0,00–0,11 (0,01) |
| K ₂ O | 0,00–0,12 (0,01) |
| CaCO ₃ | 91,11–99,15 (97,14) |
| MgCO ₃ | 0,02–1,63 (0,58) |

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie; n.o. – poniżej granicy wykrywalności (0,001% wag.).

Wysoka zawartość CaCO_3 (91,11–99,15 % wag.) przy niskiej zawartości innych składników świadczy o:

- niewielkiej ilości faz krzemianowych czy glinokrzemianowych, dowodzą tego nieznaczne zawartości SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O ;
- słabym zaawansowaniu procesów pirytyzacji. Zawartość Fe_2O_3 nie przekracza 1,09% wag.

2.3. Możliwości surowcowego wykorzystania wapieni a ich trudnourabialność

Budowa geologiczna złoża Belchatów i potrzeba ciągłości prac eksploatacyjnych spowodowały, że wapienie z podłoża (pól eksploatacyjnych) zaczęto eksploatować w 1995 roku. Rozpoznawanie ich właściwości surowcowych prowadzono natomiast od lat 60. XX w. Nie wszystkie z podjętych prób zakończyły się pozytywnie. Wykazano bowiem, że skały te nie nadają się dla przemysłu wapienniczego i produkcji wapna rolniczego. Udowodniono natomiast ich przydatność do produkcji wapna palonego i wykorzystania w charakterze topników w przemyśle hutniczym.

Aktualne możliwości zagospodarowania (praktyczne i teoretyczne) podaje rysunek 1.



Rys. 1. Potencjalne możliwości wykorzystania wapieni ze złoża węgla brunatnego Belchatów (Archiwum Działu Geologicznego Kopalni Belchatów 2015)

Fig. 1. The potential possibilities of managing limestone from the Belchatów lignite deposit

Długa historię, sięgająca lat siedemdziesiątych XX wieku mają badania, których celem było wykazanie przydatności wapieni do wytwarzania różnego rodzaju asortymentów kruszywa drogowego i budowlanego. Początkowo wapień nie wykazywały takiej przydatności, z uwagi na wyraźną miękkość, dużą nasiąkliwość czy niską mrozoodporność. Związane to było z występowaniem odmian marglistych tych skał. Wykonane badania, m.in. z uwagi na konieczność oznaczenia wytrzymałości na ściskanie (R_c), odegrały kluczową rolę w wykazaniu ich trudnourabialności.

Badaniami nad możliwością wykorzystania wapieni do produkcji kruszywa w sposób systematyczny zajęli się Kozioł i in. (2007). W celu sklasyfikowania tych skał konieczne było wykonanie badań pozwalających scharakteryzować ich urabialność. Parametrem często wykorzystywanym do określenia stopnia urabialności jest wskaźnik zwięzłości f , na którym opiera się klasyfikacja skał Protodiakonowa wykazująca związek z wytrzymałością skały na ściskanie R_c . Klasyfikacja Protodiakonowa dzieli skały na 10 kategorii, począwszy od skał o wysokim stopniu zwięzłości (skały wyjątkowo wytrzymałe, $f > 20$), poprzez skały bardzo twarde, twarde, dość twarde, miękkie, ziemiste, po sypkie i ciekłe (tzw. grunty rozrzedzone, $f < 0,2$).

W przypadku złoża Bełchatów Czarnecki i in. (2004) wydzielili trzy charakterystyczne grupy skał: bardzo zwięzłe ($f > 2$), średnio zwięzłe ($f = 1,5-2$) i mało zwięzłe ($f < 2$).

Skały bardzo zwięzłe nie są urabiane koparkami. Do ich eksploatacji stosuje się inne metody pomocnicze (Kozioł i in. 2007).

Służby geologiczne kopalni we współpracy z POLTEGOR-INSTYTUTEM we Wrocławiu od wielu lat systematycznie gromadzą dane geologiczno-górnice, dotyczące skał niewęglowych złoża, w formie Jednolitej Bazy Danych Geologicznych (JBDG). W bazie tej znalazły się również odmiany skał określane jako trudnourabialne. W stosunku do nich wyróżniono charakterystyczne serie geologiczno-inżynierskie, nadając im symbole od XI₅ do XI₁₉. Obejmują one utwory mezozoiczne jury i kredy. Podstawę ich klasyfikacji stanowił charakter litologiczno-stratygraficzny w powiązaniu z badaniami wytrzymałościowymi R_c . W ten sposób wydzielono serie skalne:

- skały jurajskie: XI₁₀ wapień drobnozianiste, mikroporowate, XII₁₁ wapień ziarniste, mikroporowate, margliste, XI₁₂ wapień onkoidowe, XI₁₃ wapień margliste i margle;
- skały kredowe to serie XI₁₈ i XI₁₉, które stanowią margle i mułowce.

Serie wapieni jurajskich, na podstawie uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie (R_c), należy zaliczyć do utworów średnio twardych. W przypadku tego typu utworów wartość wytrzymałości na ściskanie kształtuje się na poziomie 5–25 MPa. Jest on charakterystyczny dla serii XI₁₂ (wapień onkoidowe) i XI₁₃ (wapień margliste i margle). Wartości R_c niektórych próbek dochodzą nawet do 100 MPa i charakteryzują się znacznym rozrzutem (wartość minimalna R_c wyniosła zaledwie 4 MPa), wskazując na duże zróżnicowanie parametrów fizyko-mechanicznych poszczególnych skał w obrębie serii. Odpowiedzialny za tak dużą zmienność może być ich charakter mineralogiczno-petrograficzny (występująca marglistość), a także wpływ procesów tektonicznych i krasowych.

Skały stanowiące serię XI₁₀ (wapień drobnozianiste, mikroporowate) i XI₁₁ (wapień ziarniste, mikroporowate, margliste) można zaliczyć do skał średnio twardych, o R_c mieszczącej się w przedziale 25–50 MPa.

Skały kredy górnej XI₁₈ i XI₁₉ (mułowce i margle) to odmiany średnio i słabo związane. W ich przypadku wartość R_c wynosi 25 MPa, dla margli i nieco ponad 17 MPa dla mułowców.

Badane parametry fizyko-mechaniczne, w tym przede wszystkim wytrzymałość na ściskanie R_c poza wykorzystaniem na użytek określenia urabialności tych skał, były również istotne z punktu widzenia określenia możliwości ich praktycznego wykorzystania w charakterze kruszywa drogowego i budowlanego (m.in. [Kozioł i in. 2007](#)). Wytwarzane z nich odmiany kruszyw są zaliczane do III klasy (o R_c większej od 60 MPa), a część z nich jest pozaklasowa. Ponadto mogą służyć do produkcji betonów o wytrzymałości od 20 do 50 MPa.

Na początku obecnego stulecia wapienie mezozoiczne z Bełchatowa wzbudziły zainteresowanie jako surowiec do produkcji sorbentów SO₂, głównie mączki wapiennej, wykorzystywanej na potrzeby mokrej technologii odsiarczania spalin w Elektrowni Bełchatów. Badania nad możliwością wykorzystania wapieni w charakterze sorbentów SO₂ obejmowały oznaczenia podstawowych parametrów określających taką przydatność, jak skład fazowy i chemiczny. Badano również inne właściwości fizyko-chemiczne tych skał, istotne nie tylko z punktu widzenia mokrej metody odsiarczania, ale również suchych technologii, stosowanych np. w paleniskach fluidalnych. Były to m.in. parametry tekstury (powierzchnia właściwa i porowatość), białość, wskaźniki sorpcji (CI) i reaktywności (RI), kinetyka rozpuszczania kalcytu, czy temperatura jego dekarbonatyzacji. Oznaczano również parametry fizyko-mechaniczne, takie jak gęstość objętościowa (ρ), współczynnik mielności (G), który posłużył do wyznaczenia indeksu pracy Bondy (W_i), charakteryzującego energochłonność procesu mielenia. Zakres badań obejmował również oznaczenie wskaźnika wytrzymałości na ściskanie R_c ([Hycnar 2018](#); [Ratajczak i Hycnar 2017](#)). Uzyskane wartości R_c zawierały się w przedziale 10,3–172,5 MPa, przy czym zdecydowana większość badanych próbek (ok. 80%) osiągała wartości rzędu 70–90 MPa, potwierdzając przydatność do produkcji kruszywa.

TABELA 2. Uśrednione parametry jakościowe wapieni z Bełchatowa jako surowca do produkcji sorbentów SO₂ ([Ratajczak i Hycnar 2017](#) – zaktualizowane)

TABLE 2. The average results of research characterizing limestone from the Bełchatów deposit as a raw material for the SO₂ sorbents production

| Parametr | min.–max |
|------------------------------|-------------|
| CaCO ₃ [% wag.] | 90,75–98,78 |
| Wskaźnik barwy (białość) [%] | 72,3–85,6 |
| RI [mol Ca/mol S] | 1,5–3,0 |
| CI [g S/1000 g sorbentu] | 101–195 |
| ρ [Mg/cm ³] | 2,1–2,7 |
| G [obr/min] | 0,86–3,06 |
| W_i [kWh/Mg] | 7,03–19,9 |
| R_c [MPa] | 10,3–172,5 |

3. Skały okruchowe i utwory przejściowe

Litologia skał występujących w strefie podwęglowej charakteryzuje się dużą różnorodnością. Stanowi to efekt przemian zachodzących od początku ich sedimentacji aż po etap lityfikacji (diagenezy). Miały one również miejsce w utworach już zlityfikowanych (epigeneza). Z tymi przemianami związane były różne procesy mineralizacyjne. W strefie podwęglowej wyróżnia się skały okruchowe – waki i arenity – oraz przejściowe – gezy i opoki.

3.1. Skały okruchowe (waki i arenity)

Gilarska i Hycnar (2007), a później Hycnar i Pękała (2010) wśród skał okruchowych zalegających w podłożu węgla bełchatowskiego wykazały obecność kompleksów skał okruchowych różniących się między sobą charakterem petrograficznym. W kompleksach tych strop tworzą waki, zazwyczaj słabo zwięzłe, czasem rozsypliwe. Pod nimi zalegają masywne i zwięzłe arenity. Wśród tych dwóch odmian skał okruchowych dominują arenity.

Szkielet ziarnowy arenitów zbudowany jest przede wszystkim z ziaren kwarcu, nieznaczną domieszkę stanowią skalenie. Pozwala to zgodnie z klasyfikacją Pettijohna i in. (1972) zaliczyć je do arenitów kwarcowych. Materiał okruchowy arenitów jest zazwyczaj drobnoziarnisty, charakteryzuje się dobrym wysortowaniem i obtoczeniem. Spoiwo ma charakter porowy i zbudowane jest głównie z kwarcu. Podobnie w przypadku wak – kwarcowy charakter szkieletu zalicza te skały do wak kwarcowych. Obok kwarcu w składzie szkieletu można wyróżnić litoklasty i intraklasty oraz skalenie. W stosunku do arenitów charakteryzują się ponadto wyraźnie mniejszym stopniem obtoczenia i wysortowania.

Skały te nie były jak dotąd przedmiotem zainteresowania surowcowego. W związku z tym brakuje informacji na temat ich trudnourabialności. Ich udział w kompleksie podwęglowym jest podrzędny, nie mniej stanowią jego komponent i należy spodziewać się ich obecności.

3.2. Skały przejściowe (gezy i opoki)

Badania charakteru litologiczno-petrograficznego wykonane przez Ratajczaka i in. (2001) wykazały obecność wśród skał mezozoicznych gez, opok i opok lekkich.

Opoki odznaczały się zbitą, laminowaną teksturą. Miała ona charakter mikrytowo-organogeniczny. Tło skalne stanowiły mikrokrystaliczny kalcyt i opal, a także bioklasty o takim samym składzie mineralnym (kalcytowo-krzemionkowym). W składzie szkieletu występował również materiał detrytyczny, w tym głównie różniące się wielkością ziarna kwarcu oraz pojedyncze minerały ciężkie, przeważnie cyrkon.

Opoki lekkie są skałami kruchymi, posiadają mikrokrystaliczną strukturę oraz porowatą teksturę. Licznie występujące pory mają zróżnicowany kształt dochodzący do 0,05 mm średnicy. Szkielet zbudowany jest z chalcedonu o charakterystycznym włóknistym wykształceniu. Domieszkę (ok. 30% obj. skały) stanowią ziarna kwarcu o rozmiarach

0,03–0,3 mm. Przestrzeń porowa tych skał jest zazwyczaj pusta, co nadaje teksturze porowaty charakter. Rzadko wypełniona jest krzemionkową substancją opalizującą. Spotyka się blaszki muskowitu i hydromuskowitu, sporadycznie biotyту. Nielicznie występująca, słabo przeświecająca substancja ilasta jest przesycona wodorotlenkami żelaza. Nagromadzenia te tworzą formy podobne do dendrytów.

W tabeli 3 podano niekompletny skład chemiczny opok i opok lekkich. Przedstawione zawartości poszczególnych składników podkreślają specyfikę petrograficzną tych utworów, będącą pochodną procesów geologicznych prowadzących do ich powstania. Opoki charakteryzuje wysoka zawartość CaO, z kolei w opokach lekkich dominuje SiO₂ (ponad 96% wag.) przy śladowej zawartości CaO.

TABELA 3. Skład chemiczny skał ze strefy kontaktu trzeciorzęd-mezozoik w złożu węgla brunatnego Bełchatów (Ratajczak i in. 2002)

TABLE 3. The chemical composition of rocks from the Tertiary-Mesozoic contact zone in the Bełchatów lignite deposit

| Składnik | Odmiana skały i zawartość składnika [% wag.] | | |
|--------------------------------|--|-------|--------------|
| | gezy | opoki | opoki lekkie |
| SiO ₂ +NR | 95,9 | 51,1 | 96,55 |
| Al ₂ O ₃ | 0,3 | 0,6 | – |
| Fe ₂ O ₃ | 0,8 | 0,5 | 1,2 |
| CaO | 0,2 | 24,9 | ślady |
| MgO | 0,5 | 0,7 | 0,4 |
| Straty prażenia | 1,80 | 20,14 | 1,50 |

W przypadku opok i opok odwapnionych oznaczono wartości wytrzymałości na ściskanie. Kształtują się na poziomie 49–52 MPa dla opok oraz 20–30 MPa dla odwapnionych odmian tych skał. Zgodnie z kryteriami wytrzymałościowymi przyjętymi dla mezozoicznych skał wapiennych istnieją podstawy, aby opoki zaliczyć do skał średnio i słabo twardych. Możliwe będzie ich wykorzystanie do utwardzenia placów i dróg technologicznych. Zarówno sposób zalegania tych skał w trzeciorzędowym górotworze, jak i ich ilość nie powinny być przyczyną utrudnień eksploatacyjnych.

W przypadku opok odwapnionych wykonano badania mające wykazać ich ewentualną przydatność do wykorzystania w charakterze sorbentów mineralnych. Uzyskano rezultaty:

- powierzchnia właściwa ok. 40 m²/kg;
- sorpcja CEC 63 mvsl/100 g;
- sorpcja oleju transformowanego: 24,3–46,7% w zależności od uziarnienia.

Badania te są dalece niekompletne w kontekście wykorzystania opok w formie sorbentów. Nie wykluczają jednak możliwości takiego zagospodarowania. Charakter mineralogiczno-chemiczny opok stwarza możliwość wykorzystania ich do produkcji cementu portlandzkiego. Potencjalnym odbiorcą opok mogłoby być również rolnictwo. Zawierają one jednak zbyt mało CaO w stosunku do wymagań stawianym nawozom wapiennym.

4. Trzeciorzędowe piaskowce i zlepienie kwarcytowe

Trzeciorzędowe piaskowce i zlepienie kwarcytowe reprezentowane są przez skały średnio- i gruboziarniste. Rozmiary ziaren szkieletu osiągają wielkość 2 cm. Spoiwo typu kontaktowo-porowego lub regeneracyjnego zbudowane jest z krzemionki o różnym stopniu krystaliczności. Krzemionka wykazuje zdolność do rekrystalizacji, efektem czego jest obecność autigenicznych ziaren kwarcu obok opalu i chalcedonu. Zawierają w swoim składzie otoczaki krzemieni o średnicach dochodzących do 20 cm. Ich tekstura nosi ślady laminacji poziomej. Wykazują ponadto obecność kawern korozyjnych, świadczących o procesach rozpuszczania.

Osady te charakteryzuje ciemnobrązowe, niekiedy niemal czarne zabarwienie będące efektem zawartości zmacerowanych szczątków organicznych pochodzenia roślinnego. Bywają rozmieszczone plamiście, przybierając formy globul.

TABELA 4. Skład chemiczny trzeciorzędowych piaskowców kwarcytowych wg Ratajczaka i in. 2001

TABLE 4. The chemical composition of Tertiary quartzite sandstones

| 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 |

Wysoka wartość stosunku SiO₂/Al₂O₃, determinowana dużą zawartością krzemionki przy niskim udziale pozostałych składników, pozwala, zgodnie z klasyfikacją Pettijohna i in. (1972), zaliczyć te osady do arenitów kwarcowych.

Występowanie skał zbudowanych prawie wyłącznie z minerałów z grupy SiO₂ oraz powszechna w nich obecność autigenicznych form krzemionki uzasadnia zaliczenie ich do silkretów lub ganiesterów. Termin ten oznacza utwory zsylikowane, składające się głównie z terygenicznych ziarn kwarcu i spoiwa krzemionkowego. Powstały one w wyniku sedimentacyjnej silifikacji osadów tarasów rzecznych i delt jeziornych w strefach korzennych roślin. Warunki takie są charakterystyczne dla zbiorników brunatnowęglowych. Skały te występują lokalnie, w sposób rozproszony w formie soczewek o rozciągłości od kilkudziesięciu centymetrów do kilkudziesięciu metrów. Ich stropowe partie bywają porowate i spękane.

Występowanie tych odmian skał jest nieprzewidywalne. Miejsce ich zalegania w profilu litostratygraficznym złoża trudno okonturować. W materiałach archiwalnych, a także dokumentacjach geologicznych znajdują się tylko fragmentaryczne informacje na temat ich obecności. Służby geologiczne kopalni wielokrotnie próbowały rozwiązać ten problem, posługując się m.in. geofizycznymi badaniami mikrograwimetrycznymi (Jakiel i in. 2004). Z uwagi na wykazywaną przez skały trudnourabialne najwyższą gęstość objętościową spośród skał profilu brunatnowęglowego, metoda ta może okazać się pomocną dla okonturowania ich zasięgu. Wieloletnie doświadczenia służb geologicznych kopalni pozwala prognozować, że zaleganie tego typu skał związane jest z kilkoma poziomami w obrębie profilu litostratygraficznego złoża. Są to:

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

Wydobywanie i wykorzystanie tych kopalin rozpoczęto w 2008 roku. Wówczas wyeksploatowano i poddano przeróbce na kruszywo ponad 18 tys. Mg piaskowców kwarcytowych. W 2010 roku, w trakcie robót górniczych prowadzonych w wyrobisku Pola Bełchatów, stwierdzono występowanie soczew piaskowców kwarcytowych w niespotykanych dotąd ilościach. Miąższość odsłoniętych soczew i przewarstwień dochodziła do 3,5 metra. Zasoby tego wystąpienia oszacowano na 190 tys. m³. Rozpoczęto ich eksploatację i produkcję kruszyw. W Polu Szczerców piaskowce i zlepieńce kwarcytowe pojawiły się po raz pierwszy w 2009 roku.

Z tego typu skał trudnourabialnych w Zakładzie Kruszyw produkowane są asortymenty kruszyw: piaski i grysy granitowe, klince kwarcytowe, tłuczeń granitowy (dekoracyjny), żwir filtracyjny i otoczaki krzemienne.

5. Piaskowce i zlepieńce żelaziste czwartorzędowe

W czwartorzędowym nadkładzie złoża Bełchatów miejscami zalega seria piaskowców i zlepieńców żelazistych. Z uwagi na wysoką twardość i wytrzymałość mechaniczną, a także geologiczno-górnicze warunki zalegania, skały te zalicza się do trudnourabialnych. Miejsce ich występowania charakteryzuje skomplikowana i zaawansowana budowa glaciektoniczna. Bezpośrednio pod nimi spotkać można wysoko wyniesione utwory trzeciorzędu. Cementacja żelazista pojawia się w strefach zbudowanych z horyzontalnie zalegających glin zwałowych.

W tabeli 5 podano skład chemiczny czwartorzędowych piaskowców i zlepieńców żelazistych ze złoża Bełchatów oraz ich spoiwa. Wyniki badań wskazują, że substancja żelazista, determinująca charakter tych osadów, jest obecna przede wszystkim w ich spoiwie.

TABELA 5. Niepełny skład chemiczny czwartorzędowych piaskowców i zlepieńców żelazistych pochodzących ze złoża Bełchatów (Archiwum Działu Geologicznego Kopalni Bełchatów 2015)

TABLE 5. The incomplete chemical composition of quaternary sandstones and ferrous conglomerates from the Bełchatów lignite deposit

| 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) |

6. Głazy narzutowe

Głazy narzutowe w złożu węgla brunatnego Bełchatów reprezentowane są przez okruchy skał magmowych i przeobrażonych, takie jak granity, granitognejsy, piaskowce i wapienie. Zostały przytransportowane przez lodowiec. Występują w sposób rozproszony w obrębie glin zwałowych oraz na powierzchniach erozyjnych. Mają bardzo zróżnicowaną wielkość (od 0,1 do ponad 10 m³) i wagę (od kilkudziesięciu kilogramów do ponad 30 Mg). Mogą występować w formie pojedynczych głazów, jak i rumowisk. W trakcie zdejmowania nadkładu są wybierane i gromadzone na poziomach eksploatacyjnych, a następnie sukcesywnie zagospodarowywane. Podlegają przeróbce głównie na kruszywo drogowe. Część z nich jest sprzedawana dla celów ozdobnych i kamieniarskich.

Głazy narzutowe są kopaliną towarzyszącą, ich zasoby nie są udokumentowane. Wynika to ze sposobu zalegania. Szacuje się, że rocznie można pozyskać od kilku do kilkunastu tysięcy Mg tych kopalin. W KWB Bełchatów ogółem wyeksploatowano i zagospodarowano w stanie surowym lub po przeróbce około 90 tys. Mg, w tym w 1988 roku wyeksportowano do Niemiec około 800 Mg.

Podsumowanie i wnioski

1. Brunatnowęglowy trzeciorzędowy górotwór mioceniński w Bełchatowie w zdecydowanej przewadze zbudowany jest ze skał plastycznych i luźnych, niestwarzających problemów w trakcie urabiania nadkładu. Wśród tego typu utworów zalegają jednak odmiany skał o właściwościach fizyko-mechanicznych powodujących trudności eksploatacyjne. Są to tzw. skały trudnourabialne.

2. Utwory trudnourabialne z Bełchatowa są zróżnicowane wiekowo, genetycznie i litologicznie. Zalicza się do nich m.in.: mezozoiczne skały wapienne jury i kredy, trzeciorzędowe zsylikowane piaskowce i zlepieńce oraz czwartorzędowe piaskowce i zlepieńce żelaziste.

3. Wapienie, zasadnicze skały podłoża mezozoicznego, można zdefiniować jako allochemiczne odmiany mikrokrystaliczne głównie pochodzenia organicznego. Rzadziej w tym kompleksie spotyka się skały okruczowe, waki i arenity czy przejściowe, gezy i opoki. Piaskowce trzeciorzędowe reprezentowane są głównie przez arenity. Ich skład mineralny pozwala zaliczyć je do silkretów lub graniesterów, czyli utworów zsylikowanych, zbudowanych głównie z kwarcu terygenicznego i krzemionki pełniącej funkcję spoiwa. Z kolei żelazisty charakter piaskowców jest determinowany obecnością żelazistego spoiwa.

4. Wytrzymałość na ściskanie oraz geologiczno-inżynierska klasyfikacja skał wskazują, że serie skał wapiennych można zaliczyć do utworów średniotwardych. Skały kredy górnej – mułowce i margle to odmiany słabo- lub co najwyżej średniozwięzłe; średniozwięzłe odmiany skał trudnourabialnych reprezentują również opoki.

5. Charakter litologiczny i wynikające stąd parametry wytrzymałościowe świadczą o możliwości wytwarzania z wapieni kruszyw drogowych i budowlanych. Podobne produkty można uzyskać z trzeciorzędowych piaskowców i zlepieńców kwarcytowych.

6. Wapienie mezozoiczne spełniają podstawowe wymagania stawiane surowcom przeznaczonym do wykorzystania w technologiach odsiarczania gazów odlotowych, zarówno w metodach mokrych, jak i paleniskach fluidalnych.

Praca powstała w ramach działalności statutowej Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH (11.11.140.319) oraz Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w 2018 r.

Literatura

- Adamczyk i in. 2012a – Adamczyk, K., Jończyk, M.W. i Skórzak, A. 2012a. Kopaliny towarzyszące eksploatacji Złoża Węgla Brunatnego Bełchatów – historia dokumentowania i zagospodarowania. *Górnictwo Odkrywkowe* R. LIII, nr 1–2, s. 25–41.
- Adamczyk i in. 2012b – Adamczyk, K., Jończyk, M.W. i Skórzak, A. 2012b. Wapienie z Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* R. LIII, nr 1–2, s. 47–54.
- Czarnecki i in. 2004 – Czarnecki, L. Specylak-Skrzypecka, J. Ślusarczyk, G. Bednarz, A. i Borowicz, A. 2004. Możliwości prognozy oraz jakościowa charakterystyka masywu skalnego w wyrobisku górniczym KWB Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* R. XLVI, nr 7/8, s. 21–26.
- Gilarska, A. i Hycnar E. 2007. Wpływ procesów wietrzennych na charakter mineralogiczno-petrograficzny skał ze strefy kontaktu trzeciorzęd – mezozoik w złożu węgla brunatnego Bełchatów. *Górnictwo Odkrywkowe* R. XLIX nr 7, s. 24–29.
- Hycnar E., 2016: 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.
- 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.
- Hycnar i in. 2007 – Hycnar, E., Gilarska, A., Wisła-Walsh, E. i Zych, L. 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* R. XLIX, nr 7, s. 24–29.
- Hycnar, E. i Pękała, A. 2010. Waki i arenity ze strefy kontaktu mezozoik-trzeciorzęd w złożu węgla brunatnego Bełchatów – procesy diagenety a charakter mineralogiczno-petrograficzny. *Górnictwo Odkrywkowe* R. LI, nr 2.
- Jakiel i in. 2004 – Jakiel, K., Madej, J. i Radomiński, J. 2004. Warunki eksperymentalne badań mikrograwimetrycznych dla określenia morfologii stropu podłoża serii węglanowej i występowania skał trudnourabialnych

- w KWB Belchatów. *Warsztaty Górnicze z cyklu Zagrożenia w górnictwie*. IGSMiE PAN Sympozja i Konferencje nr 62, s. 153–157.
- Kasztelewicz i in. 2013 – Kasztelewicz, Z., Zajączkowski, M. i Sikora, M. 2013. Technologia urabiania utworów trudnourabialnych na przykładzie kopalni węgla brunatnego South Field w Grecji. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 85, s. 171–180.
- Kozioł i in. 2011 – Kozioł, W., Machniak, Ł., Sośniak, E. i Chałupka, R. 2011. Technologia wydobycia trudnourabialnych skał nadkładowych na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego Belchatów. *Górnictwo i Geoinżynieria* R. 35, z. 3, s. 165–180.
- Kozioł i in. 2007 – Kozioł, W., Sośniak, E., Jończyk, W. i Machniak, Ł. 2007. Eksploatacja skał trudnourabialnych towarzyszących złożu węgla brunatnego „Belchatów” z możliwością ich przemysłowego wykorzystania. *Górnictwo i Geoinżynieria* R. 31, z. 2, s. 399–412.
- Pettijohn i in. 1972 – Pettijohn, F.J., Potter, P.E. i Siever, R. 1972. *Sand and sandstone*. Springer – Verlag. New York.
- Ratajczak, T. i Hycnar, E. 2017. *Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego. Tom I. Geologiczno-surowcowe aspekty zagospodarowania kopalni towarzyszących*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, 346 s.
- Ratajczak i in. 2002 – Ratajczak, T., Kosk, I. i Pabiś, J. 2002. Osady zwietrzelinowe ze strefy kontaktowej trzeciorzęd – mezozoik w złożu węgla brunatnego Belchatów – ich litologia, charakter surowcowy i możliwości wykorzystania. *Sympozja i Konferencje* nr 56, Wyd. IGSMiE PAN, s. 243–258.
- Ratajczak i in. 2001 – Ratajczak, T., Szewczyk, E., Muszyński, M. i Wyszomirski, P. 2001. Wstępne wyniki badań utworów krzemionkowych ze strefy kontaktowej trzeciorzęd – mezozoik w Belchatowie. *XXIV Symposium nt. „Geologia Formacji Węglonośnych Polski”*. Wyd. AGH, s. 89–95.
- Ślusarczyk i in 1995 – Ślusarczyk, G., Specylak, J., Bednarz, A. i Borowicz, A. 1995. Modelowanie zaburzonych złóż węgla brunatnego. [W:] *Identyfikacja i modelowanie warunków zalegania oraz wybierania trudno urabialnych kompleksów geologicznych zaburzonych złóż węgla brunatnego*, POLTEGOR – Instytut, Wrocław, s. 7–40.