

## ZŁOŻE WĘGLA BRUNATNEGO BEŁCHATÓW A PROBLEM EKSPLOATACJI SUROWCÓW SKALNYCH I CERAMICZNYCH

### THE BEŁCHATÓW LIGNITE DEPOSIT AND THE QUARRYING PROBLEM OF MINERAL RESOURCES

TADEUSZ RATAJCZAK<sup>1</sup>, ELBIŻETA HYCINAR<sup>1</sup>, WALDEMAR JOŃCZYK<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego w złożu Bełchatów wymaga zdejmowania 120–150 mln m osadów nadkładu rocznie. W masie tej znajduje się wiele odmian skał spełniających kryteria kopalni towarzyszących. Są to: holocenyjskie torfy, plejstocenyjskie piaski i żwiry oraz głazy narzutowe, neogenyjskie iły poznańskie, a także iły beidelitowe, illitowe oraz kaolinowe. Stanowią je również piaskowce kwarcytowe, bruki krzemienne, kreda jeziorna oraz skały podłoża mezozoicznego (wapienie górnourajskie, a także kredowe opoki, margle, gezy i diatomity). Wiele z odmian kopalni towarzyszących znalazło zastosowanie w różnorodnych technologiach. Iły typu beidelitowego mogą być na przykład wykorzystywane w ceramice, wiertnictwie, odlewnictwie, do uszczelniania górotworu, jako sorbenty i materiały izolacyjne przy budowie zbiorników odpadów. Z kolei wapienie oraz piaskowce kwarcytowe są stosowane jako kruszywo drogowe. Kreda jeziorna do chwili obecnej była używana głównie jako nawóz rolniczy. Czynnione są próby jej wykorzystania jako kredy technicznej, malarskiej, wapna palonego, a przede wszystkim jako sorbentu i w przemyśle cementowym. Ze względu na trudności związane z bieżącym zagospodarowaniem i zbytem niektórych kopalni towarzyszących oraz ochroną zasobów przed ich bezpowrotną stratą Kopalnia dopracowała się własnych rozwiązań. Czyni to poprzez świadome formowanie monosurowcowych złóż wtórnych, zwanych również antropogenicznymi.

**Słowa kluczowe:** węgiel brunatny, kopaliny towarzyszące, właściwości surowcowe, złoża antropogeniczne.

**Abstract.** Open pit mining of lignite in the Bełchatów deposit requires annual removing of 120–150 mln m of overburden. Within such a huge volume of sediments there are numerous rock varieties meeting criteria of associated mineral raw materials, thus the mine cannot overlook the problem of their utilization. In the Bełchatów lignite deposit, the list of associated mineral raw materials includes Holocene peats, Pleistocene sands, gravels and erratic boulders as well, Tertiary clays (Poznań, beidellite, illite and kaolinite varieties, according to the division used by the mine). Other Tertiary rocks, such as quartz sandstones, chert pavement layers, lacustrine chalk, as well as the rocks of Mesozoic basement (Upper Jurassic limestones and Cretaceous marls, geizes and diatomites) may also become important commodities. The range of practical applications of these rocks is very wide. For instance, the beidellite clays may be utilized in ceramic, drilling and casting technologies, as sorbents and also as impervious, sealing materials in constructing landfills. The limestones and sandstones represent materials which road aggregates can be produced from. Lacustrine chalk has been used as a natural mineral fertilizer but investigations of its properties are in progress and there are attempts to utilize this rock first of all as a sorbent and in cement industry, and also in production of technical and paint chalk and burnt lime. The mine have had to develop specific procedures to overcome problems with current utilization and marketing of some associated mineral raw materials as well as with their protecting during mass mining of lignite – the major commodity. Such solutions include storing the associated rocks, those minor but important raw materials, in separate for each variety secondary deposits, known as anthropogenic deposits.

**Key words:** lignite, associated mineral raw materials, technological properties, anthropogenic deposits.

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

<sup>2</sup> BOT Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów S.A.

## WSTĘP

Eksploatacja węgla brunatnego w złożu Bełchatów w sposób bodajże najbardziej dobitny uzmysłowiła i unaoczniała problematykę niewęglowych kopalni towarzyszących na skalę dotąd w kraju niespotykaną. Są to różnorakie surowce skalne i ceramiczne. Problem ten jest obecny od początku funkcjonowania kopalni. Zasoby, różnorodność surowcowa, a przede wszystkim sam proces eksploatacji węgla powodowały, że podejmowano różnorakie prace i inicjatywy zmierzające do jego rozwiązania. Częściowo zakończyły się one pozytywnie. Według Prawa geologicznego i górniczego (1994) o tym, czy kopalina będzie mogła być uznana za towarzyszącą i wykorzystana, decydują następujące parametry:

- charakter i jakość surowcowa;
- wielkość zasobów, które mogą być przedmiotem zagospodarowania;
- geologiczne i złożowe formy zalegania;
- geologiczne i górnicze warunki eksploatacji.

Doświadczenia ostatnich lat dowiodły, że parametry te należy uzupełnić o ekonomiczną analizę możliwości zbytu kopalni, związaną ze zdefiniowaniem kryteriów użyteczności. Obecność kopalni towarzyszących jest jedną z istotnych zasad ekonomicznych waloryzacji złóż węgla brunatnego (Kasiński, Piwocki, 1993; Piwocki, Kasiński, 1994; Kasiński i in., 2006).

Rozpoznawanie, a zwłaszcza dokumentowanie kopalni towarzyszących, powinno wynikać z autentycznego zapotrzebowania na surowce (dotyczy to kopalni pospolitych)

bądź ochrony zasobów unikatowych ich odmian, na które popyt aktualnie nie istnieje.

Wykorzystanie i zagospodarowanie kopalni towarzyszących przy odkrywkowej eksploatacji węgla brunatnego jest uzasadnione z wielu przyczyn (Stryszewski red., 1995). Za najistotniejsze należy uznać:

- ochronę ich zasobów przed często nieodwracalną likwidacją;
- ochronę środowiska naturalnego drogą ograniczenia powierzchni obszarów górniczych oraz minimalizację zagospodarowania innych terenów;
- ożywienie gospodarcze przez zwiększenie podaży kopalni oraz wytworzonych z nich wyrobów na rynek;
- zwiększenie zysków podmiotów gospodarczych eksploatujących złoża węgla brunatnego, wynikających z wykorzystania kopalni.

Kopaliny towarzyszące w złożu węgla brunatnego Bełchatów po raz pierwszy zostały opisane w „Kompleksowej dokumentacji geologicznej” z 1964 roku, a uszczegółowione w „Kompleksowej dokumentacji geologicznej” z 1983 roku. Dokonano tego zgodnie z obowiązującym wówczas prawodawstwem geologiczno-górniczym. Prześledzenie wyróżnionych wówczas odmian kopalni uważanych za towarzyszące z perspektywy ponad dwudziestu lat może budzić zastrzeżenia. Rychło dowiedziono niewystarczającą dokładność ich rozpoznania w złożu. Aktualnie liczba odmian kopalni towarzyszących jest oceniana na ponad dwadzieścia.

## KOPALINY TOWARZYSZĄCE W ZŁOŻU WĘGLA BRUNATNEGO BEŁCHATÓW

Odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego w Bełchatowie wymaga zdejmowania 120–150 mln m skał nadkładu rocznie. W masie tej znajduje się wiele odmian spełniających kryteria kopalni towarzyszących. Geneza, wiek i litologia serii burowęglowej w Bełchatowie wskazują na niemal kompletne jej rozpoznanie geologiczne. Nie zawsze dotyczy to jednak sfery surowcowej.

Warunki zalegania kopalni towarzyszących w złożu węgla brunatnego Bełchatów stanowią pochodną jego budowy geologicznej. Utwory te przybierają w przewodzie formy pokładowe i soczewkowe. Rzadziej spotyka się postaci gniazdowe. Stanowiące je osady to skały luźne, plastyczne, czasami zwięzłe. W przewodzie należą one do odmian pospolitych. Nie są unikatowe pod względem właściwości surowcowych (Ratajczak, 1996).

Budowa geologiczna złoża węgla brunatnego Bełchatów i zróżnicowanie litologiczne występujących w nim osadów spowodowały, że na etapie dokumentowania trudno było określić geologiczno-górnicze warunki zalegania, a także oszacować zasoby (tym niemniej w wielu przypadkach są one oceniane na kilka do kilkudziesięciu milionów m). Sytuacja taka nie sprzyjała też kwalifikacji kopa-

lin towarzyszących do selektywnej eksploatacji, a tym samym i do wskazania kierunków praktycznego ich wykorzystania.

W celu wytypowania odmian kopalni towarzyszących o najlepszych parametrach jakościowych i korzystnych geologiczno-górniczych warunkach zalegania Kopalnia wypracowała własny program postępowania, obejmujący zarówno charakterystykę surowcową, jak i warunki wydobywania.

Na obszarze złoża węgla brunatnego Bełchatów występują następujące kopaliny towarzyszące:

- torfy powstałe w holocenie, zalegają w lokalnych obniżeniach terenu w postaci płatów o miąższości od 0,3 do 1,8 m. W polu Szczerców ich zasoby szacuje się na 220 tys. m. W trakcie robót przygotowawczych kopalnię tę wydobywa się selektywnie i gromadzi na składowiskach wtórnych w celu wykorzystania w charakterze ziemi ogrodniczej;
- piaski i żwiry są pospolitą odmianą litologiczną osadów, występującą wśród kompleksu piaszczystych utworów plejstoceńskich. Zmienność ich zalegania i jakości nie pozwala na jednoznaczne określenie wielkości zasobów, a tym bardziej parametrów użytecznych. W polu Bełchatów zasoby szacunkowe piasków wynoszą 40 tys. m;

– złoże kruszywa naturalnego o zasobach 750 tys. Mg (odmiany piaszczysto-żwirowe) oraz 8,9 mln Mg (odmiany piaszkowe o przydatności dla budownictwa). Wyprzedzająco rozpoznawane jest zaleganie tej kopaliny i wykonywane badania jakościowe. Piaski wyeksploatowano selektywnie i zgromadzono na składowiskach. Wykorzystuje się je do makroinwielacji, budownictwa, produkcji klejów i zapraw budowlanych;

– głązy narzutowe skał magmowych i przeobrażonych, występują w sposób rozproszony wśród glin zwałowych i na powierzchniach erozyjnych. Szacuje się, że rocznie będzie możliwe pozyskiwanie kilku tysięcy Mg tej kopaliny. Skały spękane i zwiertzałe przerabiane są na kruszywo budowlane i drogowe, pozostałe sprzedawane są jako surowiec kamienniarzki;

– surowce ilaste (Wyrwicki, 1996):

- plejstocenijskie ility zastoiskowe typu polimineralnego, posiadające cechy surowca przydatnego do produkcji porowatej ceramiki budowlanej oraz keramzytowego;
- pstry ility poznańskie, reprezentujące odmiany illitowo-beidelitowe o szerokim wachlarzu zastosowań;
- ility typu beidelitowego, wieku neogeńskiego, stanowiące główną kopalinę ilastą. Wydziela się dwa ich rodzaje, tj. ility beidelitowe i kaolinitowo-beidelitowe. Mogą być wykorzystywane w ceramice, wiertnictwie, odlewnictwie, do uszczelniania górotworu, jako sorbenty i materiały izolacyjne przy budowie zbiorników odpadów;
- ility typu illitowego, stanowią surowiec przydatny do produkcji wyrobów kamionkowych, klinkieru i półklinkieru;
- ility kaolinitowe białe wypalające się, spotykane wśród osadów podwęglowych.

– krzemienno-piaszczysto-żwirowa, tzw. bruki krzemienne, które są gruboklastycznym osadem górnioceńskim. Miąższość tej warstwy jest bardzo zróżnicowana, od 0,1 do 20 m. W związku z bardzo zmiennymi geologiczno-górnictwymi warunkami zalegania tej kopaliny ich zasoby nie są bliżej określone. W polu Szczerców zasoby bruków szacuje się na 11 mln m (Jończyk i in., 2004). Wykorzystywane są jako kruszywo drogowe do podbudowy dróg;

– piaskowce kwarcytowe powstałe w wyniku lokalnej sylikacji kwarcowych piasków mioceńskich. Występują one lokalnie w sposób rozproszony w formie soczew o rozciągłości od kilkudziesięciu centymetrów do kilkunastu metrów i o miąższości od kilku cm do 1,5 m. Ich zasoby są trudne do oszacowania. Po przeróbce wykorzystuje się je w charakterze kruszywa drogowego;

– kreda jeziorna zalegająca w brzeźnych partiach rowu Kleszczowa, zazębająca się facjalnie z osadami kompleksu

węglowego. W polu Bełchatów eksploatacja tej kopaliny dotyczyła trzech obszarów. W polu Szczerców zasoby szacunkowe kredy wynoszą 20,9 mln Mg, z czego możliwe do eksploatacji jest 7,1 mln Mg (Ocena

, 1986). Kreda ta może być bez ograniczeń stosowana jako nawóz rolniczy, odpowiadający kryteriom wapna kredowego, a także jako komponent ekopreparatów używanych do poprawy właściwości bonitacyjnych gleb. Czynione są próby jej wykorzystania jako kredy technicznej, malarskiej, wapna palonego, białego cementu. Przyszłość tej jednej z głównych odmian kopaliny towarzyszących w złożu Bełchatów to wykorzystanie w charakterze sorbentów mineralnych (Wisła-Walsh, Ratajczak, 2003);

– skały podłoża wieku jurajskiego i kredowego znajdujące się w kontakcie z osadami neogeńskimi. Utwory jury górnej (oksfordu i kimerydu) reprezentowane są przez wapienie, margle oraz mułowce i ilowce. Wśród osadów kredowych natomiast występują utwory albu: piaski i piaskowce zawierające w swoim składzie niekiedy fosforyty oraz skały węglanowe cenomanu–mastrychtu, przede wszystkim opoki, margle, gezy i diatomity. Udokumentowano też występowanie zróżnicowanych litologicznie osadów, określanymi mianem zwiertzelin lub regolitów, często o interesujących właściwościach surowcowych (Cieśliński, Dąbrowska, 1980; Ratajczak i in., 2002).

Na szczególną uwagę zasługują ility beidelitowe (Ratajczak i in., 1992; Wyrwicki, 1993). Głównym minerałem ilastym tych skał jest Ca-beidellit. Podstawowymi składnikami skałotwórczymi są także kwarc i kaolinit. Zawierają one ponadto podrzędne ilości illitu, mik (hydromuskowitu), skaleń, chlorytu. Parametrami przesądzającymi o możliwości wykorzystania ich jako sorbentów, a także w charakterze ziem odbarwiających czy katalizatorów są (Ratajczak i in., 1992):

- powierzchnia właściwa: 6,3–5,1 m/g;
- pojemność wymiany kationów: 15–28 mval/100 g;
- kwasowość wg Bronsteda: 0,331–0,604 mval NH/g.

Skały podłoża w efekcie przemian diagenetycznych i epigenetycznych uległy daleko posuniętym wtórnym procesom mineralizacyjnym. Do najbardziej charakterystycznych należą: silifikacja, kaolinityzacja i pirytyzacja oraz odwapnienie. Procesy te doprowadziły do utworzenia nowych skał, takich jak opoki lekkie, brekcje osadowe czy ility kaolinowe (Gilarzka, Hycnar, 2007). Skały podłoża w złożu węgla brunatnego Bełchatów do tej pory nie doczekały się szczegółowych badań surowcowych. Wapienie aktualnie są wykorzystywane jako kruszywo drogowe. Wykonane w warunkach laboratoryjnych badania reaktywności względem SO sugerują, że mogą one pełnić także rolę sorbentów w takich metodach obniżania emisji dwutlenku siarki w paleniskach elektrowniowych.

## PROBLEM ZŁÓŻ ANTROPOGENICZNYCH

W warunkach masowego występowania kopaliny towarzyszących, a taka sytuacja ma miejsce w KWB Bełchatów, możliwa jest tylko eksploatacja najbardziej wartościowych ich odmian, na które istnieje zapotrzebowanie. Na taki stan, oprócz czynników geologicznych, wpływają uwarunkowania związane z eksploatacją.

Nabrzmiewający od lat problem kopaliny towarzyszących spowodował, że KWB Bełchatów dopracowała się własnych, oryginalnych metod jego rozwiązania. Ze względu na trudności z natychmiastowym zagospodarowaniem i zbytem

pojawił się temat ich ochrony oraz zabezpieczenia przed zniszczeniem. Zaczęto go rozwiązywać drogą gromadzenia kopaliny towarzyszących w złożach wtórnych, zwanych również antropogenicznymi (Nieć, 1999).

Uzasadnienie słuszności tworzenia złóż wtórnych gromadzących kopaliny towarzyszące znalazło potwierdzenie poprzez analizy ekonomiczne różnych wariantów organizacyjnych tego problemu (Pajda, Ratajczak, 1995, 2001). Złóża wtórne tworzone są głównie z myślą o ochronie zasobów kopaliny przed ich bezpowrotną stratą.

## PODSUMOWANIE

Ochrona bazy zasobowej surowców mineralnych w Polsce powinna być realizowana zarówno poprzez ich racjonalne wykorzystanie, jak również poszukiwanie nowych, alternatywnych źródeł ich pozyskiwania. Duże szanse w tym względzie daje górnictwo węgla brunatnego. Odkrywkowy charakter eksploatacji węgla brunatnego wymaga zdejmowania miększych warstw nadkładu, a także powoduje odsłonięcie skał podłoża. W złożu Bełchatów w obu przypadkach mamy do czynienia z występowaniem różnorodnych osadów o cennych właściwościach surowcowych, spełniających kryteria kopaliny towarzyszących. Rejon złoża można traktować jako obszar o potencjalnie dużych zasobach różnorodnych surowców mineralnych.

Problematyka kopaliny towarzyszących w złożu węgla brunatnego Bełchatów nie jest w pełni rozwiązana. Wymaga dalszych prac geologiczno-złożowych, a także badań pod-

stawowych i utylitarnych. Osobnym zagadnieniem są badania surowcowe kopaliny towarzyszących zgromadzonych na złożach antropogenicznych. Ich specyfika wymaga opracowania specjalnej metodyki.

Działania zmierzające do stworzenia warunków i możliwości wykorzystania kopaliny towarzyszących ze złoża Bełchatów są uzasadnione z wielu względów. Obszar złoża zlokalizowany jest w części kraju ubogiej w niektóre surowce skalne czy ceramiczne. Eksploatacja kopaliny towarzyszących odbywać się będzie mniejszym kosztem niż w przypadku złóż samodzielnych.

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (nr 11.11.140.158) Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

## LITERATURA

- CIEŚLIŃSKI S., DĄBROWSKA Z., 1980 – Budowa podłoża trzeciorzędu oraz stratygrafia permu i mezozoiku w rowie bełchatowskim. *Przew. 52. Zjazdu Pol. Tow. Geol.*: 7–33. Wyd. Geol., Warszawa.
- GILARSKA A., HYCINAR E., 2007 – Wpływ procesów wietrzenia na charakter mineralogiczno-petrograficzny skał ze strefy kontaktu trzeciorzęd–mezozoik w złożu węgla brunatnego „Bełchatów”. *Górn. Odkrywk.*, 7: 24–29.
- JOŃCZYK M.W., SKÓRZAK A., SPECYLAK J., ŚLUSARCZYK G., 2003 – Bruki krzemienne w nadkładzie złoża węgla brunatnego „Bełchatów” — pole „Szczerców” — kopalina towarzysząca. *Górn. Odkrywk.*, 45, 6: 19–29.
- KASIŃSKI J.R., PIWOCKI M., 1993 – Metoda ekonomiczno-sociologiczna waloryzacji złóż węgla brunatnego. *Prz. Geol.*, 41, 5: 346–360.
- KASIŃSKI J.R., MAZUREK S., PIWOCKI M., 2006 – Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 187.
- KOMPLEKSOWA dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Bełchatów” — pole Bełchatów w kat. C + B. Arch. Przeds. Geol. we Wrocławiu, 1983.
- NIEĆ M., 1999 – Złóża antropogeniczne. *Prz. Geol.*, 47, 1: 93–98.
- OCENA występowania osadów węglanowych na obszarze złoża węgla brunatnego „Bełchatów” — pole „Szczerców”. Arch. Przeds. Geol. we Wrocławiu, 1986.
- PAJDA R., RATAJCZAK T., 1995 – Analiza możliwości zagospodarowania wybranych kopaliny towarzyszących w górnictwie węgla brunatnego w warunkach polskich. *Mat. V Konferencji „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”*: 19.1–19.22. PAN, Kraków.
- PAJDA R., RATAJCZAK T., 2001 – Możliwości rozwoju bazy zasobowej w Polsce drogą tworzenia antropogenicznych złóż wtórnych kopaliny towarzyszących węglem brunatnym. *Prace Naukowe Katedry Ekonomii i Gospodarki Zasobami Przyrody, Wydział Zarządzania AGH*: 159–179. Kraków.

- PIWOCKI M., KASIŃSKI J.R., 1994 – Zasoby i bogactwa zasobowe węgla brunatnego w Polsce jako podstawa rozwoju przemysłu energetycznego. *Węgiel Brunatny*, 2: 19–23.
- PRAWO geologiczne i górnicze. Ustawa z dnia 4 lutego 1994 roku, Dz.U. 1994.27.96.
- RATAJCZAK T., 1996 – Jakość kopaliny towarzyszących w złożach polskich węgla brunatnych. Mat. V Konf. „Wykorzystanie zasobów złóż kopaliny użytecznych”: 267–284. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- RATAJCZAK T., BAHRANOWSKI K., OLKIEWICZ S., 1992 – Wstępna ocena własności powierzchniowych, jonowymiennymi i kwasowych ilów poznańskich z Bełchatowa. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 18, 4: 117–130.
- RATAJCZAK T., KOSK I., PABIS J., 2002 – Osady zwietrzelinowe ze strefy kontaktowej trzeciorzęd–mezozoik w złożu węgla brunatnego „Bełchatów” – ich litologia, charakter surowcowy i możliwości wykorzystania. Sympozja i Konferencje nr 56: 243–258. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- STRYSZEWSKI M. (red.), 1995 – Eksploatacja selektywna węgla brunatnego i kopaliny towarzyszących wraz z uwarunkowaniami techniczno-ekonomicznymi i korzyściami ekologicznymi. Monografia. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków.
- WISŁA-WALSH E., RATAJCZAK T., 2003 – Kreda jeziorna z KWB „Bełchatów” jako sorbent wapienny. *Górn. Odkrywk.*, 45, 6: 24–29.
- WYRWICKI R., 1993 – Potrzeba ochrony beidellitowych ilów z KWB „Bełchatów”. *Prz. Geol.*, 41, 3: 612–620.
- WYRWICKI R., 1996 – Kopaliny ilaste w KWB „Bełchatów”. *Węgiel Brunatny*, 1: 18–19.



## ZMIENNOŚĆ FIZYCZNO-MECHANICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI UTWORÓW GÓRNYCH WARSTW LGOCKICH MIĘDZY SUŁKOWICAMI A MYŚLENICAMI

### VARIABILITY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE UPPER LGOTA ROCKS BETWEEN SUŁKOWICE AND MYŚLENICE

MAREK REMBIŚ<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu wykształcenia litologicznego, związanego z warunkami sedymentacji i przemian diagenetycznych, na właściwości fizyczno-mechaniczne utworów górnych warstw lgockich fragmentu jednostki śląskiej w Beskidzie Wyspowym. Dla obszaru usytuowanego pomiędzy Sułkowicami a Myślenicami charakterystyczne są profile trzech kamieniołomów, zlokalizowanych na południowych stokach pasma Barnasiówki: Jasienica I, Jasienica II i Bysina II. Występują w nich najbardziej typowe i kompletnie wykształcone zespoły warstw, które zaklasyfikowano zgodnie z przyjętym podziałem do 10 subfacji, składających się na 7 facji. Dominują wśród nich piaskowce z mułowcami (SM) oraz piaskowce z rogowcami i mułowcami (SMH). Utwory pozostałych facji: piaskowców zlepieńcowatych (SC), piaskowców (S), mułowców z piaskowcami (MS), mułowców (M) i rogowców (H) występują podrzędnie. Wykazano, że cechy litologiczne omawianych utworów górnych warstw lgockich, takie jak: skład mineralny, uziarnienie, rodzaj i ilość spoiwa oraz charakter struktur wewnątrzławicowych, są pochodną warunków sedymentacji oraz przemian diagenetycznych, jakim podlegały zdeponowane osady. Stwierdzono, że materiał deponowany prądami zawiesinowymi o zmiennej energii wykazywał odmienną podatność na oddziaływanie procesów diagenetycznych, głównie rozpuszczania, cementacji, zastępowania i rekrytalizacji, wynikającą z przynależności do określonej subfacji. Procesy te wpłynęły w znacznym stopniu na właściwości fizyczno-mechaniczne skał, decydujące o znaczeniu użytkowym skalnej kopaliny. Najbardziej korzystnymi wartościami parametrów charakteryzują się rogowce (H) oraz piaskowce zawierające wkładki rogowców (subfacje mSMH oraz ISMH). Należy to wiązać z dużym udziałem w nich spoiwa krzemionkowego, tworzącego cement międzyziarnowy oraz obwódki autigeniczne na ziarnach detrytycznych. Ródlm krzemionki były najprawdopodobniej rozpuszczane krzemionkowe igły gąbek oraz ziarna kwarcu detrytycznego. Silną sylyfikację opisywanych utworów górnych warstw lgockich umożliwiła dość duża porowatość nie do końca skonsolidowanego osadu, dodatkowo zwiększona poprzez rozpuszczanie składników węglanowych. W ławicach subfacji mS, ISM i mIS proces ten zachodził z mniejszym nasileniem, co wpłynęło na pogorszenie parametrów fizyczno-mechanicznych tych skał.

**Słowa kluczowe:** piaskowce lgockie, diageniza.

**Abstract.** The author investigated the relation between lithological development, controlled by sedimentary conditions and diagenetic changes, and physical and mechanical properties of rocks of the Upper Lgota Beds. The strata belong to a fragment of the Silesian Unit in the Beskid Wyspowy Mts and are situated between Sułkowice and Myślenice. The characteristic profiles are exposed in three quarries on the southern slopes of the Barnasiówka range: Jasienica I, Jasienica II and Bysina II. They contain the most typical and fully developed sets of strata that have been included after Ghibaud (1992) into ten subfacies, composed of seven facies types. The dominant are sandstone-mudstone couplets (SM) and sandstone-mudstone couplets with hornstones (SMH). The strata of the remaining facies: conglomeratic sandstones (SC), sandstones (S), mudstone-sandstone couplets (MS), mudstones (M) and hornstones (H) occur less frequently. The author have shown that the lithological features of the Upper Lgota strata such as the mineral composition, grain size distribution, type and amount of cement and the character of textures within the layers, are controlled by sedimentary conditions and diagenetic changes that affected the sediments. The material deposited by density currents of variable energy was prone to the action of diagenetic processes, mainly dissolution, cementation, replacement and recrystallization, different than those characteristic of a given subfacies. These processes affected to a considerable degree development of physical and mechanical properties of rocks, controlling applicability of the given rock commodity. The horn-

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; mrembis@geol.agh.edu.pl.

stones (H) and the sandstones with intercalations of hornstones (subfacies mSMH and LSMH) reveal the most favourable parameters. This fact can be explained by the presence of siliceous intergranular cement and authigenic silica rims on detrital grains. The silica most probably originated from dissolution of siliceous sponge spicules and detrital quartz grains. Strong silicification of the Upper Lgota Beds strata was favoured by a rather strong porosity of not fully consolidated sediments, and additionally increased by dissolution of their carbonate components. In the layers of the mS, LSM and mLS subfacies this process was less intense and, as a result, the amount of siliceous cement is lower. Therefore, the physical and mechanical properties of the sandstones belonging to these subfacies are worse.

**Key words:** Lgota sandstones, diagenesis.

Litologia utworów górnej części warstw lgockich jednostki śląskiej, zawierających obok piaskowców i mułowców także skały krzemionkowe (rogowce i gezy), przedstawiona jest w licznych publikacjach (m.in. Unrug, 1959; Geroch, Nowak, 1963; Peszat, 1971; Alexandrowicz, 1973; Burtan, Turnau-Morawska, 1978). W pracach tych nie uwzględniano jednak badań ilościowych, które dotyczą tylko ich środkowego ogniwa lub obejmują zagadnienia głównie sedimentologiczne. Uzupełnienia wymaga między innymi charakterystyka petrograficzna i ocena surowcowa utworów wspomnianego kompleksu, odsłaniających się w Beskidzie Wyspowym pomiędzy Sułkowicami a Myślenicami.

Dla omawianego obszaru charakterystyczne są profile trzech kamieniołomów, zlokalizowanych na południowych stokach pasma Barnasiówki: Jasienica I, Jasienica II i Bysińska II. Można w nich prześledzić najbardziej typowe i kompletne wykształcenie omawianego zespołu, którego miąższości kształtują się tu w granicach od 26 do 29 m. Utwory występujące w ich obrębie zaklasyfikowano zgodnie z podziałem Ghibauda (1992), zmodyfikowanym przez Słomkę (1995), do 10 subfacji, składających się na 7 facji. Dominują wśród nich facje piaskowców z mułowcami (SM) i piaskowców z rogowcami i mułowcami (SMH), w udziałach dochodzących do 63%. W wyraźnie mniejszych, kilkunastoprotentowych ilościach obecne są facje: piaskowców zlepieńcowatych (SC), piaskowców (S), mułowców z piaskowcami (MS), mułowców (M) i rogowców (H). Od spągu utwory te ograniczone są drobnorytmicznym fliszem łupkowo-piaskowcowym środkowych warstw lgockich, natomiast od stropu cienkoławicowymi piaskowcami i pstryimi łupkami warstw godulskich.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że przynależność omawianych utworów do poszczególnych subfacji wyraża się nie tylko określonymi cechami sedimentologicznymi, ale także odmiennym udziałem składników szkieletu ziarnowego oraz zróżnicowaniem ilości i sposobu wykształcenia elementów spoiwa. Różnorodność składu mineralnego i wykształcenia mikrostrukturalnego tych skał ma z kolei wyraźny związek ze zmiennością wartości ich podstawowych właściwości fizyczno-mechanicznych. Stwierdzono, że z uwagi na właściwości surowcowe najbardziej korzystnymi wielkościami parametrów charakteryzują się rogowce (facja H), piaskowce masywne z rogowcami przechodzące w mułowce (subfacja mSMH) oraz piaskowce laminowane równoległe i/lub przekątnie z rogowcami, przechodzące w mułowce (subfacja LSMH). Wykazują one wysoką wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrznosuchym, wynoszącą dla wymienionych subfacji odpowiednio:

199, 176 i 163 MPa. Należy to wiązać głównie z dużym udziałem w nich spoiwa krzemionkowego (52,1–89,2%), co potwierdza wysoka wartość współczynnika korelacji pomiędzy udziałem omawianego spoiwa a wytrzymałością na ściskanie ( $r = 0,83$ ). Ten rodzaj spoiwa, tworzącego cement międzyziarnowy oraz obwódki autigeniczne na ziarnach detrytycznych, powstał najprawdopodobniej w wyniku krystalizacji z roztworów przesyconych krzemionką. Pochodziła ona z rozpuszczania opalu biogenicznego, budującego między innymi krzemionkowe igły gąbek, oraz z nadtrawiania ziarn kwarcu detrytycznego. Ścisłą zależność pomiędzy ilością cementu kwarcowego a obfitością krzemionkowych igieł gąbek wykazano już wcześniej dla piaskowców górnej jury (Vagle i in., 1994). Silną sylifikację opisywanych utworów górnych warstw lgockich umożliwiła dość duża porowatość nie do końca skonsolidowanego osadu, dodatkowo zwiększona przez rozpuszczanie głównie mikrytowych składników węglanowych. W efekcie doszło do migracji krzemionki, a w dalszym etapie do jej koncentracji w centralnych częściach ławic, połączonej z dekalcyfikacją. Przemieszczanie roztworów przesyconych krzemionką zachodziło w obrębie niewielkich odległości, najczęściej od kilku do kilkunastu centymetrów. Wypieranie węglanów przez krzemionkę zaowocowało znacznym wzbogaceniem roztworów porowych w węglan wapnia. W wyniku jego krystalizacji część porów została zapełniona przez blokowy cement kalcytowy o zróżnicowanych rozmiarach kryształów. W ławicach piaskowców masywnych (subfacja mS), piaskowców laminowanych równoległe i/lub przekątnie, przechodzących w mułowce (subfacja LSM), oraz piaskowców masywnych i laminowanych (subfacja mLS) opisany proces sylifikacji zachodził z mniejszym nasileniem, co wyraziło się utworzeniem spoiwa krzemionkowego w mniejszej ilości: 18,6–38,2%. Wynika to z wcześniejszej cementacji osadów węglanami oraz, zgodnie z badaniami Hesse'a (1987) i Carsona (1991), z odmiennych form ich wykształcenia, bardziej odpornych na rozpuszczanie. Stwierdzono, że kryształy cementu kalcytowego wyraźnie przeważają ilościowo nad mikrytem kalcytowym, stanowiąc 21,3–45,4% udziału spoiwa. Z powyższych względów piaskowce tych subfacji mają nieco niższe wartości wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrznosuchym, wynoszące średnio 160 MPa dla subfacji mS, 156 MPa dla subfacji mLS oraz 157 MPa dla subfacji LSM. Oprócz dominujących w spoiwie węglanów skały te charakteryzują się w niektórych ławicach dość dużym udziałem składników ilastych (głównie autigenicznego illitu i minerału illit/smektyt), dochodzącym do 12,3%. W takich przypadkach ziarna mikrytu

kalcytowego zazwyczaj nie ulegały rozpuszczeniu, ale rekrytalizacji. Często dopiero w kolejnym stadium diagenetyzacji zostawały zsylikowane, o ile pozwalała na to wielkość budujących je kryształów, znacznie powiększonych podczas rekrytalizacji. Stwierdzono, że większy udział spoiwa ilastego, zwłaszcza w piaskowcach subfacji mLS, wiąże się z wyraźnym wzrostem ich nasiąkliwości wagowej, wynoszącej średnio 1,96%, podczas gdy w subfacjach mS i LSM o mniejszej zawartości minerałów ilastych parametr ten osiąga wartości odpowiednio 0,72 i 0,95%. Piaskowce charakteryzujące się nasiąkliwością o takich wartościach wykazują wyraźny spadek wytrzymałości na ściskanie, po nasyceniu wodą o około 15%, a po zamrożeniu o kolejne 12% dla subfacji mS i LSM oraz o 18% dla subfacji mLS. W przypadku rogowców (H) i piaskowców zawierających rogowce (subfacje mSMH i ISMH) stosunkowo niewielka ich nasiąkliwość (0,28–56%) dość wyraźnie koreluje się z nieznacznymi spadkami wytrzymałości na ściskanie po nasyceniu wodą o około 5% oraz po zamrożeniu w granicach 6%.

Dla wszystkich omawianych skał zaobserwowano powszechnie znaną ścisłą zależność pomiędzy wartościami gęstości pozornej oraz nasiąkliwości. Obrazują to wysokie wartości współczynnika korelacji od  $(-0,88)$  dla facji H do  $(-0,76)$  dla subfacji mLS.

Wykonane badania wykazały, że cechy litologiczne omawianych utworów górnych warstw Igockich, takie jak: skład mineralny ziarn szkieletu, uziarnienie, rodzaj i ilość spoiwa oraz charakter struktur wewnątrzławicowych, są pochodną warunków sedymentacji oraz przemian diagenetycznych, jakim podlegały zdeponowane osady. Wykształcenie litologiczne badanych utworów wskazuje, że są one wynikiem depozycji z prądów zawieszinowych o zmiennej energii, transportujących materiał o różnej wielkości ziarna. Stwierdzono, że zdeponowany materiał wykazywał odmienną podatność na oddziaływanie procesów diagenetycznych, głównie rozpuszczania, cementacji, zastępowania i rekrytalizacji, wynikającą z przynależności do określonej subfacji. Procesy te wpłynęły w dużym stopniu na wartości parametrów fizyczno-mechanicznych omawianych skał, decydując o możliwości ich wykorzystania do produkcji kruszyw naturalnych różnych kategorii.

Pracę wykonano w Katedrze Geologii Złóżowej i Górniczej, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH. Badania zostały sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (umowa: 10.10.140.063).

## LITERATURA

- ALEXANDROWICZ S.W., 1973 – Gaize-typ sediment in the Carpathian flysch. *N. Jr. Geol. Palaontol. Mh.* 1:1–17.
- BURTAN J., TURNAU-MORAWSKA M., 1978 – Biochemiczne skały krzemionkowe Zachodnich Karpat fliszowych. *Pr. Geol. PAN*, 111: 7–30.
- CARSON G.A., 1991 – Silification of fossils. *W: Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record* (P.A. Allison, D. Briggs eds.): 455–499. New York.
- GEROCH S., NOWAK E., 1963 – Profil dolnej kredy śląskiej w Lipniku koło Bielska. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 33, 1–3: 241–264.
- GHIBAUDO G., 1992 – Subaqueous sediment gravity flow deposits: particular criteria for their field description and classification. *Sedimentology*, 39: 423–454.
- HESSE R., 1987 – Selective and reversible carbonate-silica replacements in Lower Cretaceous carbonate – bearing turbidites of the Eastern Alps. *Sedimentology*, 34: 1055–1077.
- PESZAT C., 1971 – Piaskowce warstw Igockich w kamieniołomie Kozy koło Bielska-Białej. *Przew. 43. Zjazdu Pol. Tow. Geol.*: 199–207. Warszawa.
- SŁOMKA T., 1995 – Głębokomorska sedymentacja silikoklastyczna warstw godulskich Karpat. *Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN Krak.*, 139.
- UNRUG R., 1959 – Spostrzeżenia nad sedymentacją warstw Igockich. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 29: 197–225.
- VAGLE G. B., HURST A., DYPVIK H., 1994 – Origin of quartz cements in some sandstones from the Jurassic of the Inner Moray Firth (UK). *Sedimentology*, 41: 363–377.



## KAMIEŃ W WYBRANYCH OBIEKTACH SAKRALNYCH REJONU SŁOMNIK

### BUILDING STONE IN SELECTED SACRAL EDIFICES OF THE SŁOMNIKI REGION

MAREK REMBIŚ<sup>1</sup>, ANNA SMOLEŃSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W pracy przedstawiono różne rodzaje kamieni użytych na zewnątrz i wewnątrz wybranych kościołów w rejonie Słomnik. W Wysocicach wykorzystano wapienie jurajskie, w Prandocinie piaskowce szydłowieckie i suchedniowskie, a w Niedźwiedziu wapienie pińczowskie. Przejawy największej destrukcji obecne są w wapieniu pińczowskim, budującym cokół południowej elewacji, zwłaszcza w miejscach częściowo osłoniętych przed wodą opadową. Występują tu ciemnoszare i czarne nawarstwienia gipsowo-pyłowe o zmiennej grubości, pod którymi kamień ulega rozwarstwieniu i łuszczeniu. W miejscach intensywnie przemywanych przez wody opadowe doszło do rozpuszczania składników tego wapienia i zwiększenia ilości porów, w których krystalizował lód. W mniej porowatym i bardziej związłym wapieniu jurajskim, osłoniętym przed bezpośrednim oddziaływaniem opadów atmosferycznych, powstały cienkie, ciemnoszare, kalcyto-gipsowe nacieki z przejawami wtórnego rozpuszczania. W miejscach bardziej eksponowanych obserwowane jest natomiast prawie wyłącznie rozpuszczanie węgla wapnia i wygładzanie powierzchni wapienia. W piaskowcach głównym źródłem destrukcji (pękanie oraz wykruszanie składników) było niszczące działanie lodu, wywołane dobowymi zmianami temperatur o szczególnie dużej amplitudzie w okresie zimowym. Zarówno w piaskowcach, jak i w wapieniach budujących elewacje północne obiektów obserwuje się dodatkowo korozję biologiczną. Wywołana jest ona mechanicznym i chemicznym oddziaływaniem bakterii, grzybów, mchów i porostów. Powszechnie obecne są także na powierzchniach kamieni wykwity halitu, związane z podciąganiem kapilarnym chlorku sodu pochodzącego z chodników wokół kościołów. Lokalnie, w pobliżu miedzianych rur spustowych obserwuje się zielonkawe naloty związków miedzi, prawdopodobnie malachitu z domieszką chryzokoli. Wewnątrz kościołów zastosowano wapienie bardziej dekoracyjne: dębnicki, bolechowicki i morawicki oraz zlepieniec zygmunowski. Wykonane z nich posadzki, płyty epitafijne, portale oraz inne detale kamienne przedstawiają lepszy stan zachowania, co wynika z ich większego stopnia lityfikacji oraz ograniczonego wpływu czynników niszczących.

**Słowa kluczowe:** kamień budowlany, deterioracja, rejon Słomnik.

**Abstract.** The authors studied various types of building stones, the mechanism of their destruction and the state of their preservation. The stones were used outside and inside selected churches in the Słomniki region: Roman edifices were erected in Wysocice using the Jurassic limestone and in Prandocin using the Szydłowiec and Suchedniów sandstones, whereas the Gothic church in Niedźwiedź was built using the Pińczów limestone. The stones studied are better preserved than the same stones in the Krakow agglomeration due to lower concentration as well as diversification of damaging anthropogenic factors. The authors show that the most advanced destruction affects the Pińczów limestone in the ground-course of the southern elevation (Niedźwiedź), particularly in the places partly protected from rainwater. The stone reveals dark grey and black crusts of variable thickness, composed of gypsum and air particulates; underneath the crust the stone delaminates and scales off. In the places intensively washed with rainwater, mineral components of the limestone surface layer were partly dissolved and the porosity of the stone has increased. In the pores, ice crystallization causes bursting of the rock. Less porous and more compact Jurassic limestone, better protected against rainwater, is covered by thin dark grey calcite-gypsum coatings with signs of secondary dissolution. In more exposed places the process of stone destruction is practically limited to dissolution of calcium carbonate and smoothing out the limestone surfaces. Destruction of the sandstones (fracturing and chipping of mineral components) has been caused mainly by expansion of ice due to daily temperature changes that are of considerable amplitude in winter. Additional stone corrosion can be observed in both the sandstones and limestones from northern elevations of the churches. It results from mechanical and chemical action of bacteria, fungi and lichens. Efflorescences of halite are also common at the stone surfaces, formed due to capillary rising of sodium chloride used for deicing in win-

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, mrembis@geol.agh.edu.pl; smolensk@geol.agh.edu.pl

ter. In isolated places situated close to rainwater copper pipes there are coatings of greenish copper compounds, probably of malachite with an admixture of chrysocolla. Inside the churches the building stones include more decorative limestone varieties coming: from Dębnik, Bolechowice and Morawica, as well as the Zyguntówka conglomerate. Used as floor tiles and epitaph tablets, and for the construction of portals and other stone details, they are better preserved probably owing to their stronger lithification and limited access of destructing factors.

**Key words:** building stone, deterioration, Słomniki region.

## WSTĘP

W okolicy Słomnik występuje wiele budowli sakralnych, z których najstarsze wzniesione zostały w stylu romańskim (np. w Wysocicach i Prandocinie) i gotyckim (np. w Niedźwiedziu). Kościoły te należą do grupy jednonawowych świątyń wiejskich, charakteryzujących się obecnością nawy zbliżonej do kwadratu, węższych i krótkich prezbiteriów zamkniętych półkolistą apsydą oraz wieży usytuowanej od strony zachodniej. W romańskich kościołach w Wysocicach i Prandocinie do budowy użyto przede wszystkim materiałów kamiennych: wapienia jurajskiego z regionu krakowskiego oraz piaskowców – liasowego (szydłowieckiego) i triasowego (suchedniowskiego). Gotycki kościół w Niedźwiedziu został wzniesiony głównie z cegły pokrytej tyn-

kiem, którą zestawiono z wapieniem pińczowskim, wykorzystanym w detalach architektonicznych. We wnętrzach kościołów zastosowano kamienie bardziej dekoracyjne: wapienie dewońskie z Dębnika i Bolechowic, wapienie jurajskie z Morawicy, a także zlepieniec cechsztyński (tzw. zyguntówkę). Zostały z nich wykonane głównie płyty epitafijne, portale nad drzwiami oraz drobne detale kamienne.

Z uwagi na dużą wartość historyczną omawianych obiektów istotne znaczenie ma znajomość ich stanu zachowania, a szczególnie materiału kamiennego obecnego w elementach zarówno konstrukcyjnych, jak i dekoracyjnych. Może być ona źródłem informacji dla określenia zakresu i charakteru planowanych prac konserwatorskich.

## KAMIEŃ W ELEWACJACH ZEWNĘTRZNYCH

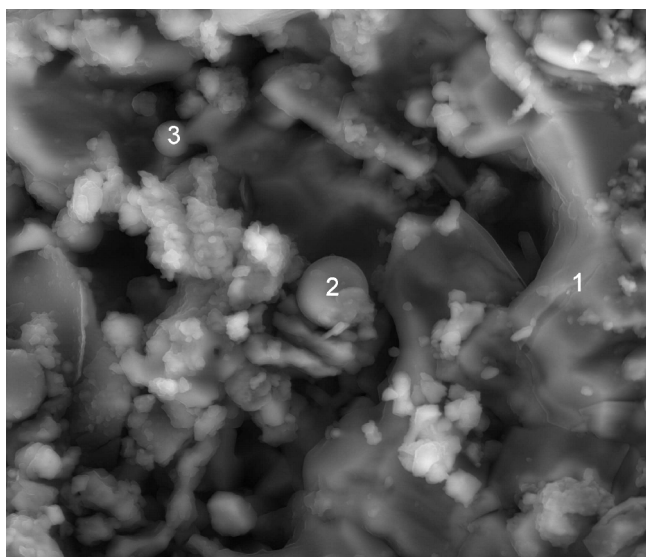
Wśród skał zastosowanych na zewnątrz omawianych kościołów objawy największych zniszczeń obserwuje się w wapieniach, szczególnie w wapieniu pińczowskim, występującym w odmianach średnio- i gruboziarnistej organodetrytycznej. Stwierdzono, że przejawy największej destrukcji wykazują elementy budujące cokół, zwłaszcza w południowej elewacji. W miejscach częściowo osłoniętych przed wodą opadową obserwuje się ciemnoszare i czarne nawarstwienia pyłów o zróżnicowanym składzie chemicznym i sadzy, powstających podczas spalania paliw stałych (fig. 1, 2). Mają one zmienną grubość, sięgającą 5 mm. Ponadto pomiędzy występującymi w powietrzu związkami siarki a węglanami zaszła reakcja, w wyniku której w przypowierzchniowej części wapienia wytrąciły się kryształy gipsu (fig. 3). Wskutek ich krystalizacji nastąpiło uszczelnienie porów, a nawet doszło do rozpadu ziarnistej skały. Procesy te stały się przyczyną rozwarstwiania wapienia i jego złuszczenia wraz z pyłowo-gipsowym naskorupieniem. W miejscach bardziej ekspozycyjnych intensywne przemywanie kamienia przez wody opadowe doprowadziło do rozpuszczania jego składników i zwiększenia porowatości. Cyklicznie krystalizujący i rozpuszczający się lód w przestrzeni porowej wywoływał naprężenia prowadzące do pęknięcia oraz wykruszania składników.

W wapieniu jurajskim, osłoniętym przed bezpośrednim oddziaływaniem opadów atmosferycznych, zachodzą podobne mechanizmy niszczenia, lecz z mniejszym nasi-

leniem. Związane jest to głównie z jego mniejszą porowatością i większą zwięzłością. Na powierzchni tej skały utworzyły się ciemnoszare, kalcytowe nacieki z niewielką ilością amorficznego gipsu (fig. 4, 5). Niejednokrotnie wykazują one przejawy rozpuszczania, wywołanego okresowym przemywaniem wodą opadową o mniejszym stężeniu związków siarki. Zjawisko to jest dość powszechne w obszarach poza aglomeracjami miejskimi (Wilczyńska-Michalik, 2004). W miejscach poddanych intensywnemu przemywaniu obserwowane jest rozpuszczanie węglanu wapnia i wygładzanie powierzchni wapienia.

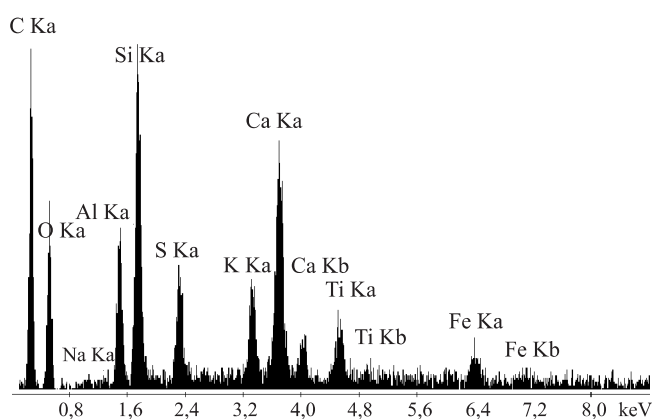
Piaskowce suchedniowskie i szydłowieckie, mimo podobnego usytuowania w obiektach, wykazują nieco inny mechanizm niszczenia. Brak węglanów w ich składzie mineralnym uniemożliwił tworzenie się gipsu. Głównym źródłem destrukcji piaskowców były natomiast dobowe zmiany temperatur o szczególnie dużej amplitudzie w okresie zimowym. Przyczyniły się one do cyklicznego krystalizowania i rozpuszczania lodu w porach, powodującego powstawanie naprężeń i pęknięcie oraz wykruszanie składników skały.

W elewacjach kościołów o ekspozycji północnej i wschodniej obserwuje się dodatkowo korozję biologiczną zarówno piaskowców, jak i wapieni. Spowodowana jest ona zasiedleniem powierzchni i warstw przypowierzchniowych tych skał przez bakterie, grzyby, mchy i porosty (fig. 6, 7). W piaskowcach penetrują one przestrzeń porową i trwale wiążą się z powierzchnią skały. W wapieniach dodatkowo zachodzi



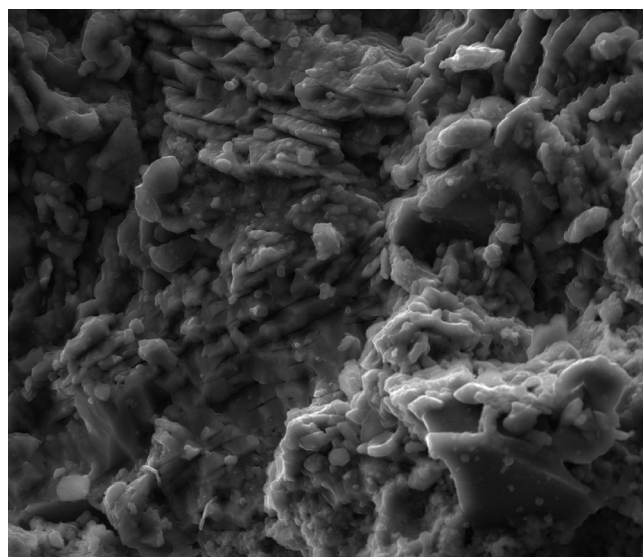
**Fig. 1.** Obraz SEM wapienia pińczowskiego pochodzącego z cokołu południowej elewacji kościoła w Niedźwiedziu. Na powierzchni wapienia widoczne są pyły (punkty 2 i 3), cząstki sadzy oraz gips (punkt 1) tworzące nawarstwienie zewnętrzne

SEM image of Pińczów limestone from the ground-course of the southern elevation of the church in Niedźwiedź. Air particulates (points 2 and 3), soot grains and gypsum (point 1) make outer crust on the limestone surface



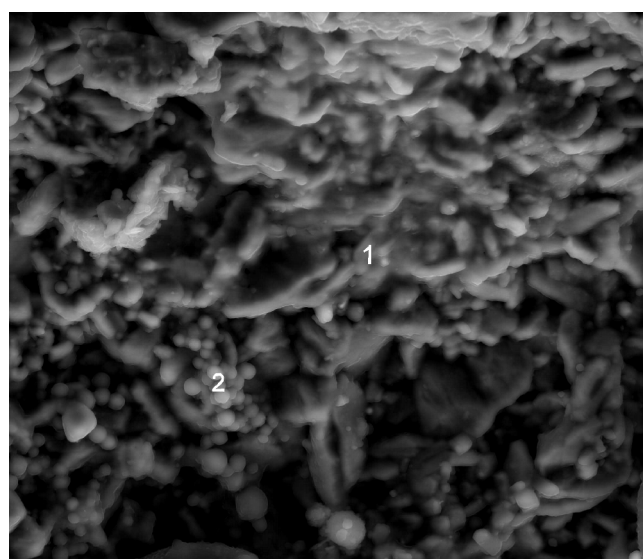
**Fig. 2.** Skład pierwiastkowy (wykres EDS) składników nawarstwienia zewnętrznego wapienia pińczowskiego (punkt 3 na fig. 1)

Elemental composition (EDS) of the components of the outer crust on the Pińczów limestone (point 3 in Fig. 1)



**Fig. 3.** Obraz SEM wapienia pińczowskiego pochodzącego z cokołu południowej elewacji kościoła w Niedźwiedziu. W przypowierzchniowej części wapienia widoczne są kryształy gipsu uszczelniające jego przestrzeń porową

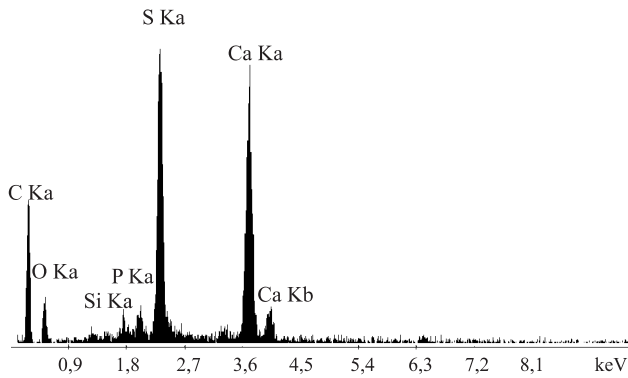
SEM image of the Pińczów limestone from the ground-course of the southern elevation of the church in Niedźwiedź. Gypsum crystals seal the pore space of the near-surface limestone layer



**Fig. 4.** Obraz SEM wapienia jurajskiego pochodzącego ze wschodniej elewacji kościoła w Wysocicach. Widoczne są nacieki kalcytowe z niewielkim udziałem amorficznego gipsu (punkt 1) oraz kuliste formy organiczne (punkt 2)

SEM image of the Jurassic limestone from the eastern elevation of the church in Wysocice. Coatings of calcite with subordinate, cryptocrystalline gypsum (point 1) and spherical organic forms (point 2) can be seen



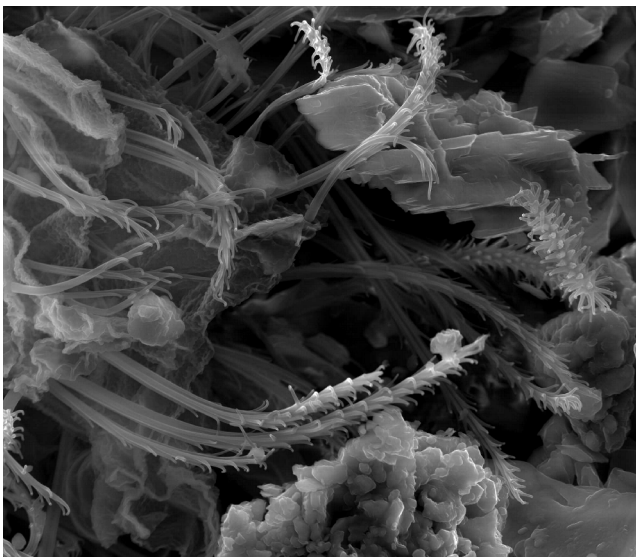


**Fig. 5. Skład pierwiastkowy (wykres EDS) nacieków kalcytowo-gipsowych przedstawionych na fig. 4**

Elemental composition (EDS) of the calcite-gypsum coatings from Fig. 4

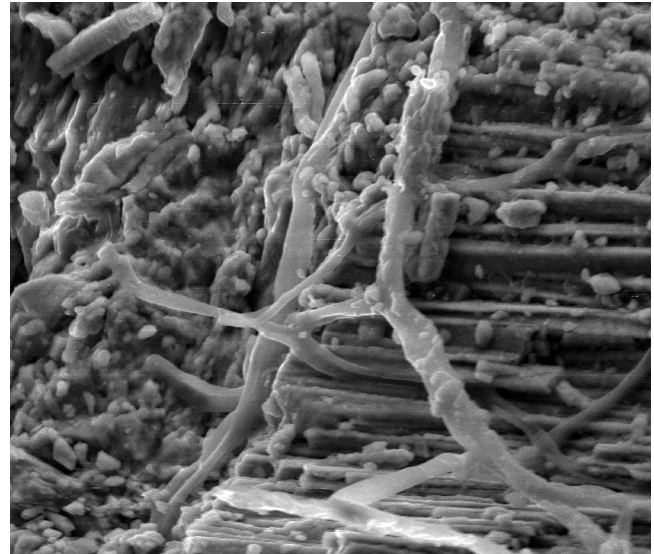
rozpuszczanie składników skały przez kwasy organiczne i nieorganiczne, które produkowane są w wyniku procesów metabolicznych bakterii i grzybów lub tworzą z nimi słabo rozpuszczalne sole (Smyk, 1991). Odmianym zjawiskiem obserwowanym w wapieniu jurajskim, w którym powszechnie obecne były te organizmy, jest proces rekrystalizacji kalcytu (fig. 8). W efekcie dochodzi do częściowej zabudowy przestrzeni porowej. Taką rolę tych form podkreślają niektórzy autorzy (Lee, 2003; Kolo i in., 2007).

Innym rodzajem zniszczeń obserwowanych we wszystkich obiektach są nieregularne, szarobiałe plamy oraz osy-



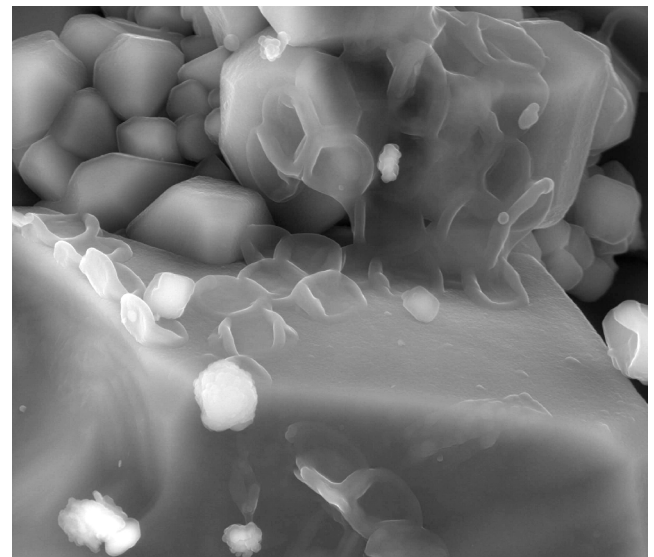
**Fig. 6. Obraz SEM wapienia jurajskiego pochodzącego z północnej elewacji kościoła w Wysocicach. Obserwowane są kielkujące zarodniki mchów pokrywające powierzchnię wapienia oraz wypełniające przestrzeń porową jego warstwy przypowierzchniowej**

SEM image of the Jurassic limestone from the northern elevation of the church in Wysocice. Germinating spores of moss cover the surface of the limestone and fill the pore space or its near-surface layer



**Fig. 7. Obraz SEM wapienia pińczowskiego pochodzącego z cokółu północnej elewacji kościoła w Niedźwiedziu. Widoczne jest zasiedlenie przestrzeni porowej wapienia przez grzyby o nitkowatych formach, trwale wiążące się ze składnikami skały**

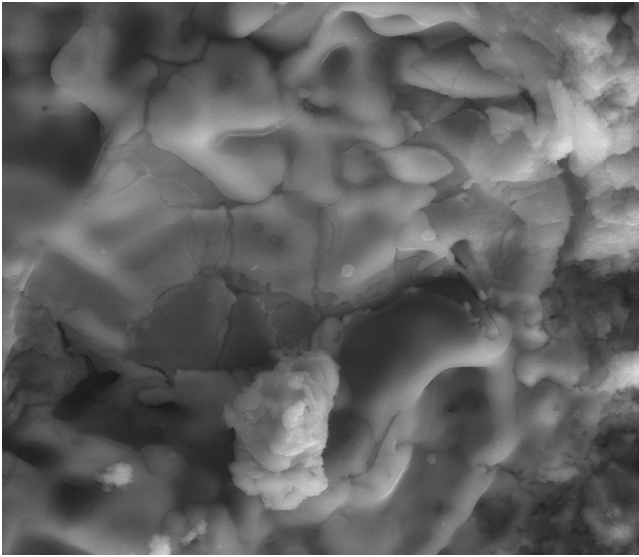
SEM image of the Pińczów limestone from the ground-course of the northern elevation of the church in Niedźwiedź. Fungi with thread-like forms occupy the pore space of the Pińczów limestone; they are permanently bound to rock components



**Fig. 8. Obraz SEM wapienia jurajskiego pochodzącego z zachodniej elewacji kościoła w Wysocicach. Obserwowane są przejawy wtórnej krystalizacji kalcytu, zachodzącej w pobliżu licznie występujących form organicznych**

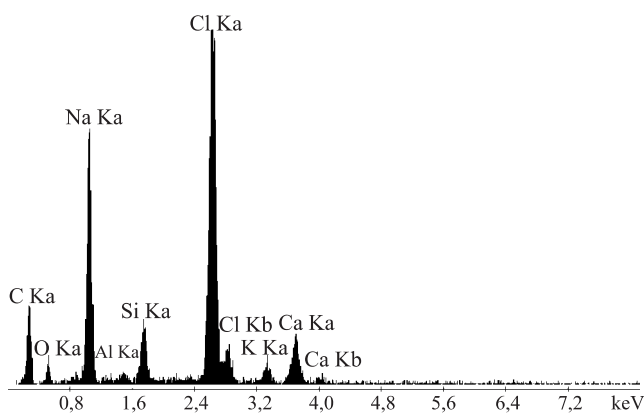
SEM image of the Jurassic limestone from the western elevation of the church in Wysocice. Signs of secondary crystallization of calcite can be seen close to frequently occurring organic forms

pywanie powierzchni kamienia. Badania SEM i EDS wykazały, że są one spowodowane obecnością skupień halitu (fig. 9, 10). Pochodzenie tego minerału można wiązać z podciąganiem kapilarnym chlorku sodu, którym posypywana była nawierzchnia wokół kościoła w okresie zimowym. Minerale ten z uwagi na zdolność cyklicznej hydratacji i dehydratacji jest bardzo niebezpieczny dla kamienia (Vermette i in., 1991), bowiem w dużej koncentracji może powodować naprężenia i doprowadzać do jego pęknięcia.



**Fig. 9.** Obraz SEM wapienia jurajskiego pochodzącego z cokołu południowej elewacji kościoła w Wysocicach. Widoczne jest nieregularne skupienie halitu wykazującego objawy wtórnego rozpuszczenia

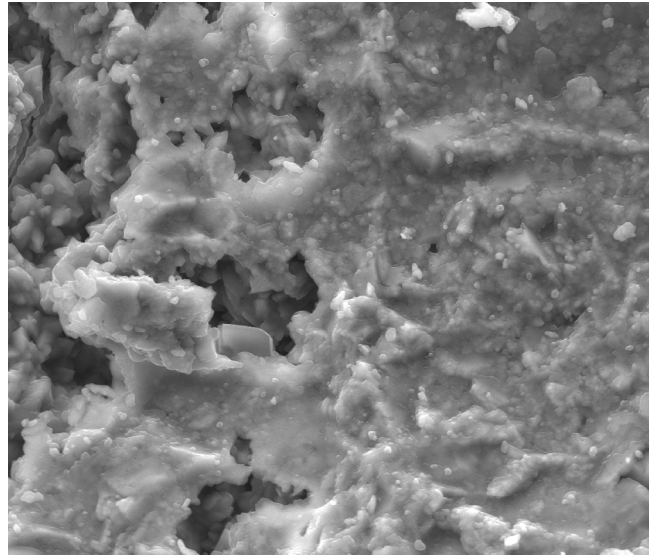
SEM image of the Jurassic limestone from the ground-course of the southern elevation of the church in Wysocice. An irregular halite accumulation shows the signs of secondary dissolution



**Fig. 10.** Skład pierwiastkowy (wykres EDS) halitu widocznego na fig. 9

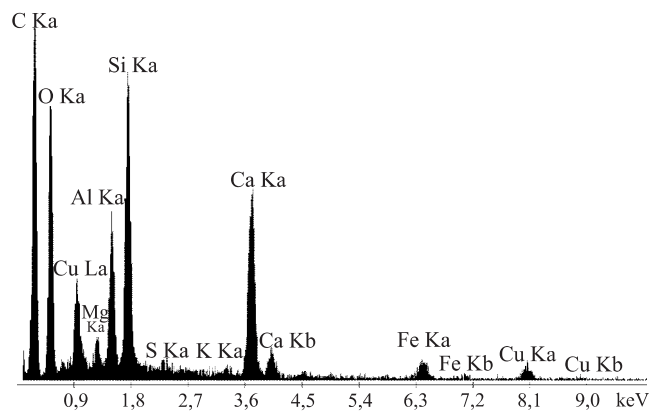
Elemental composition (EDS) of the halite from Fig. 9

Odmienną przyczyną zmian zachodzących na powierzchni kamienia znajdującego się w pobliżu omywanych wodą miedzianych rur spustowych są zielonkawe naloty związków miedzi (fig. 11). Analiza EDS próbki wapienia pobranej z tej strefy wykazała podwyższone zawartości różnych pierwiastków, głównie Cu, Si i Al (fig. 12). W obrazach mikroskopowych SEM obserwuje się w tych miejscach nieregularne naskorupienia o zmiennej grubości. Forma wykształcenia i skład pierwiastkowy wskazują prawdopodobnie na obec-



**Fig. 11.** Obraz SEM wapienia jurajskiego pochodzącego z kościoła w Wysocicach. Na powierzchni wapienia występującego w pobliżu rury spustowej obecne są nieregularne naskorupienia (nawarstwienia) związków miedzi

SEM image of the Jurassic limestone from the church in Wysocice. Irregular crusts of copper compounds on the surface of the limestone close to a rainwater pipe



**Fig. 12.** Skład pierwiastkowy (wykres EDS) nawarstwienia związków miedzi widocznego na fig. 11

Elemental composition (EDS) of the crust of copper components from Fig. 11



ność malachitu  $\text{CuCO}_3$  z domieszką chryzokoli ( $\text{Cu, Al})\text{HSi}(\text{OH})_2$ .

## KAMIENNY WYSTRÓJ WNĘTRZ

Spośród skał zastosowanych we wnętrzach omawianych budowli najgorszy stan zachowania wykazuje wapień dębnicki odmiany gruzłowej, z którego wykonane są tablice epitafijne przy drzwiach wejściowych w kruchcie kościoła w Niedźwiedziu. Widoczne są na nich przebarwienia i zmatowienie powierzchni, związane z nawarstwieniami gipsowymi, a miejscami dochodzi nawet do rozpadu granularnego skały. Dobry stan zachowania wykazują wszystkie pozostałe detale kamienne, zarówno o charakterze historycznym, jak i współczesne. Są one zazwyczaj wykonane z wapieni bolechowickich i bardziej odpornej, jednolitej odmiany wapieni dębnickich, a sporadycznie ze zlepieńca zygmuntońskiego. Obserwuje się co najwyżej zmatowienie ich powierzchni oraz drobne ubytki o charakterze mechanicznym.

Wykonane badania wykazały, że materiały kamienne zastosowane na zewnątrz obiektów wykazują, w zależności od

usytuowania w elewacji, zróżnicowany charakter zniszczeń. Są one jednak słabiej i nieco inaczej zaznaczone niż obserwuje się to w aglomeracji krakowskiej, co wywołane jest mniejszym natężeniem i zróżnicowaniem czynników antropogenicznych (Wilczyńska-Michalik, 2004). Wewnątrz kościołów natomiast kamień przedstawia lepszy stan zachowania, co wynika z jego wyższego stopnia lityfikacji oraz ograniczonego wpływu czynników niszczących.

Praca zrealizowana na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, w ramach prac statutowych Katedry Geologii Żyłowej i Górniczej AGH (nr 11.11.140.562), finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## LITERATURA

- KOLO K., KEPPENS E., PRÉAT A., CLAEYS P., 2007 – Experimental observations on fungal diagenesis of carbonate substrates. *J. Geophys. Res.*, **112**: G01007, doi: 10.1029/2006JG000203.
- LEE Y.N., 2003 – Calcite production by *Bacillus amyloliquefaciens* CMB01. *J. Microbiology*, **41**, 4: 345–348.
- SMYK B., 1991 – Mikroorganizmy a degradacja zabytkowych obiektów architektury i sztuki. *Aura*, **5**: 27–30.
- VERMETTE S.J., IRVINE K.N., DRAKE J.J., 1991 – Temporal variability of the elemental composition in urban street dust. *Environ. Monit. Ass.*, **18**: 69–77.
- WILCZYŃSKA-MICHALIK W., 2004 – Influence of atmospheric pollution on the weathering of Stones in Cracow monuments and rock outcrops in Cracow–Częstochowa Upland and the Carpathians. Wyd. Nauk. Akademii Pedagogicznej, Kraków.