

Katarzyna Guzik

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PIASKOWCÓW JURAJSKICH
PÓŁNOCNO-ZACHODNIEGO OBRZEŻENIA GÓR
ŚWIĘTOKRZYSKICH JAKO KAMIENI ARCHITEKTONICZNYCH
W ZALEŻNOŚCI OD ICH LITOLOGII

KOMITET REDAKCYJNY

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki (redaktor naczelny serii)
dr hab. inż. Lidia Gawlik (sekretarz redakcji), prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Krzysztof Galos, prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Beata Kępińska, prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Zenon Pilecki, prof. IGSMiE PAN

RECENZENCI

dr hab. Andrzej Barczuk, prof. UW
dr hab. inż. Jan Bromowicz, prof. AGH

*Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych
Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*

ADRES REDAKCJI

31-261 Kraków, ul. Józefa Wybickiego 7A
tel. 12-632-33-00, fax 12-632-35-24

Redaktor Wydawnictwa: mgr Emilia Rydzewska
Redaktor techniczny: Barbara Sudoł

© Copyright by Katarzyna Guzik

© Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN – Wydawnictwo

Printed in Poland

Kraków 2017

ISSN 1895-6823

ISBN 978-83-62922-85-7

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
2. Cele pracy	8
3. Zarys budowy geologicznej obszaru badań	9
4. Rozwój poglądów na litostratygrafię, warunki sedymentacji oraz znaczenie surowcowe epikontynentalnych osadów jury na analizowanym obszarze	13
5. Historia eksploatacji i użytkowania piaskowców jurajskich w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich	19
6. Przedmiot i metodyka badań	24
6.1. Wybór i lokalizacja złóż do badań	24
6.2. Badania terenowe	27
6.3. Badania laboratoryjne	27
6.3.1. Badania petrograficzne	27
6.3.1.1. Obserwacje mikroskopowe w świetle przechodzącym	29
6.3.1.2. Ilościowa analiza mikroskopowa	29
6.3.1.3. Analiza granulometryczna	30
6.3.1.4. Obserwacje w skaningowym mikroskopie elektronowym z analizatorem chemicznym (SEM/EDS)	30
6.3.2. Badania właściwości fizyczno-mechanicznych	31
6.3.2.1. Oznaczenie gęstości objętościowej, nasiąkliwości wagowej i objętościowej oraz wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym	31
6.3.2.2. Pomiar prędkości fali podłużnej	31
7. Omówienie wyników badań	34
7.1. Wykształcenie litologiczne piaskowców z analizowanych złóż na tle warunków sedymentacji	34
7.2. Wyróżnione odmiany piaskowców	38
7.3. Charakterystyka petrograficzna	52
7.4. Właściwości fizyczno-mechaniczne	78
8. Interpretacja wyników badań	87
8.1. Wpływ warunków sedymentacji i wykształcenia litologicznego na możliwości wykorzystania piaskowców jako kamieni architektonicznych	87

8.2. Wpływ wykształcenia petrograficznego oraz procesów diagenetycznych na właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców	93
8.2.1. Wykształcenie petrograficzne a właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców	94
8.2.2. Wpływ procesów diagenetycznych na właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców	103
9. Podsumowanie	106
Literatura	110
Plansze	118
Załączniki	132
Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych w zależności od ich litologii – Streszczenie	136
Possibilities of the Utilization of Jurassic Sandstones in the North-Western Margin of the Świętokrzyskie Mountains as Architectural Stones Depending on Their Lithology – Abstract	139

1. Wprowadzenie

Piaskowce przydatne jako kamienie architektoniczne występują w mezozoicznym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich w obrębie osadów triasu, jury oraz kredy. Największe znaczenie złożowe mają osady jury dolnej, wykształcone w postaci naprzemianległych warstw piaskowców oraz iłowców i mułowców, z podrzędnym udziałem skał gruboklastycznych, syderytów oraz wkładek węgla (Kozydra 1968). Miąższość omawianego kompleksu skalnego na analizowanym obszarze oceniana jest na około 1000 m, a udział osadów piaskowcowych i piaskowcowo-mułowcowych w obrębie poszczególnych poziomów jury dolnej stanowi od około 30 do około 97% (Kozydra 1968). Piaskowce o parametrach jakościowych odpowiednich dla możliwości ich wykorzystania do produkcji różnego rodzaju materiałów kamiennych stanowią jednak tylko niewielkie fragmenty profilu osadów liasu. Pozostaje to w ścisłym związku z wykształceniem litologicznym tych skał, ukształtowanym w wyniku zróżnicowanych procesów sedymentacyjnych i diagenetycznych.

Spośród trzynastu formacji litostratygraficznych, na które podzielony został kompleks osadów terygeniczných jury dolnej (Pieńkowski 2004), złoża piaskowców występują w obrębie pięciu. Są to formacje: skłobska (piętro hetang), ostrowiecka (piętro synemur), gielniowska i drzewicka (piętro pliensbach) oraz borucicka (piętro toark). Najważniejszym źródłem pozyskiwania materiałów kamiennych są od wielu wieków piaskowce stanowiące odpowiednik formacji drzewickiej, intensywnie eksploatowane w rejonie Szydłowca, w północno-wschodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Skały te nie mają jednak znaczenia złożowego w północno-zachodniej części obrzeżenia, gdzie udokumentowane wystąpienia piaskowców związane są głównie z osadami formacji skłobskiej, ostrowieckiej i borucickiej.

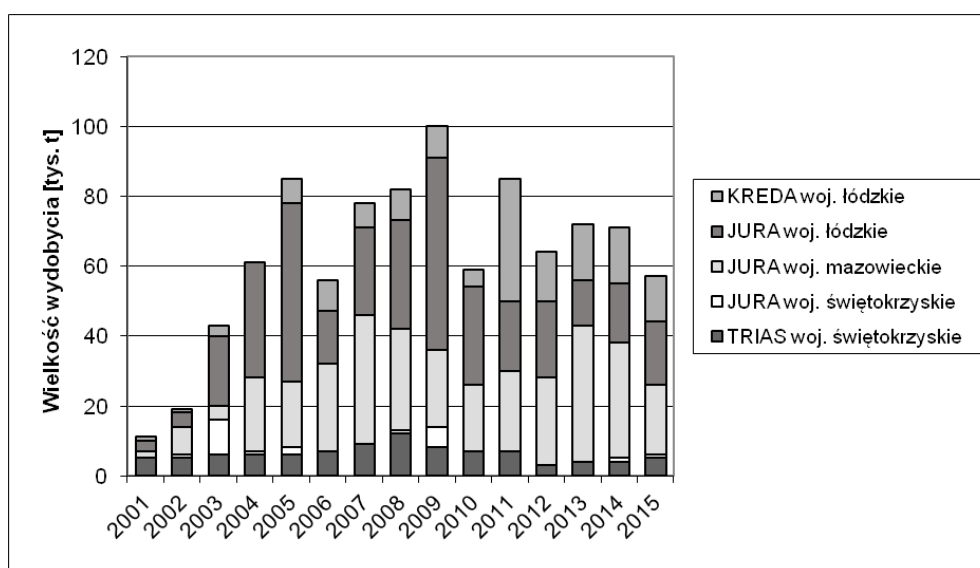
Na mniejszą skalę jako kamienie architektoniczne wykorzystywane są obecnie piaskowce różnych poziomów triasu oraz piaskowce dolnej kredy. Pierwsze z nich, reprezentowane przez kompleksy skalne pstrego piaskowca (znane w szczególności jako piaskowce tumlińskie), retu (piaskowce suchedniowskie i wąchockie), a podrzędnie również retyku (Urban i Gągoł 1994a; Bromowicz i Figarska-Warchoł 2012), eksploatowane są w niewielkich ilościach m.in. ze złoża Kopulak 1, Tumlin Gród, Parszów oraz Sosnowica. Drugie – to skały górnego albu udokumentowane w kilku złożach w okolicach Przedborza (pomiędzy miejscowościami Zagórze i Chełmo).

Notowany od początku pierwszej dekady XXI w. wzrost zapotrzebowania na materiały kamienne dla celów architektonicznych skorelowany był z dynamicznym rozwojem wydo-

bycia piaskowców na obszarze mezozoicznej osłony Gór Świętokrzyskich. Jego wielkość wzrosła z niespełna 20 tys. Mg/rok w latach 2001–2002, do 40–100 tys. Mg/rok w latach 2003–2015, z maksimum notowanym w 2009 r. (rys. 1.1). Z czynnych w tym rejonie kopalń, położonych w granicach administracyjnych województwa mazowieckiego, łódzkiego oraz świętokrzyskiego, pochodziło w ostatnich latach około 30% łącznego krajowego wydobycia piaskowców wykorzystywanych do produkcji różnego rodzaju wyrobów kamiennych. Pozostała część przypadała na dostawców z obszaru niecki północnosudeckiej i śródsudeckiej (województwo dolnośląskie) oraz Karpat fliszowych (województwo małopolskie, podkarpackie i śląskie).

Wraz z rosnącą wielkością wydobycia szybko zwiększała się również liczba udokumentowanych i eksploatowanych na analizowanym obszarze złóż piaskowców. Sprzyjały temu obowiązujące uregulowania prawne, nakładające obowiązek koncesjonowanego wydobywania kopalin (ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze).

W konsekwencji, obok znanych i cenionych na rynku kamieniarskim jurajskich piaskowców szydlowieckich (eksploatacja prowadzona w województwie mazowieckim, w północno-wschodniej części obrzeżenia), czy też triasowych piaskowców tumlińskich i wąchockich (województwo świętokrzyskie, północne obrzeżenie), pojawiło się wiele nowych odmian pozyskiwanych w województwie łódzkim (północno-zachodnia część obrzeżenia), w tym piaskowce jurajskie ze złóż w Wolicy i Dąbiu oraz piaskowce kredowe z okolic Przedborza.



Rys. 1.1. Wielkość wydobycia piaskowców przydatnych dla celów architektonicznych ze złóż położonych na obszarze mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich w latach 2001–2015 (Bilans zasobów... 2016 i wydania poprzednie)

Fig. 1.1. The volume of sandstones appropriate for the architectural purposes output from deposits situated in the Mesozoic margin of the Świętokrzyskie Mountains

Znacząca dynamika wzrostu wydobycia, jak też liczby udokumentowanych i eksploatowanych złóż obserwowana była w szczególności w odniesieniu do piaskowców jury dolnej pozyskiwanych w kopalniach położonych w województwie łódzkim, w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich (rys. 1.1). Udział tych skał w łącznych dostawach piaskowców dla celów architektonicznych pochodzących z obszaru obrzeżenia stanowił w ostatnich latach od 18 do nawet 60% (rys. 1.1). Warto podkreślić, iż z wyjątkiem piaskowców żarnowskich, skały te miały dotychczas na ogół charakter surowców lokalnych i eksploatowane były na niewielką skalę (Urban i Gągol 1994b).

Pomimo coraz częstszego stosowania w architekturze zróżnicowanie litologii i parametrów jakościowych omawianych piaskowców, jest dotychczas słabo poznane. Tymczasem w zależności od miejsca prowadzonej eksploatacji wydobywane skały wykazują pod tym względem znaczną zmienność. Zaznacza się ona zarówno w odniesieniu do piaskowców zaliczanych do różnych formacji litostratygraficznych, jak też uznawanych za równowiekowe. Często obserwowana jest również w obrębie jednego profilu złożowego, przejawiając się naprzemianległym występowaniem odmian o zróżnicowanych właściwościach użytkowych. Determinuje to możliwości gospodarczego wykorzystania omawianych skał, wpływając na ich zróżnicowaną przydatność do stosowania jako kamieni architektonicznych.

Skąpe i rozproszone informacje na temat litologii i parametrów jakościowych piaskowców jurajskich wydobywanych ze złóż w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, w województwie łódzkim, stanowiły przesłankę do podjęcia badań, których wyniki zaprezentowane zostaną w niniejszej pracy. Integralnym ich elementem było również określenie związku między wykształceniem litologicznym i właściwościami użytkowymi piaskowców a warunkami ich sedymentacji i diagenety. Badania obejmowały piaskowce reprezentujące wszystkie eksploatowane na analizowanym obszarze poziomy jury dolnej, a zatem formację skłobską, ostrowiecką oraz borucicką.

Prezentowane w monografii wyniki badań stanowią fragment rozprawy doktorskiej autorki pt.: „Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich i kredowych północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych w zależności od ich litologii”. W niniejszej monografii analizę ograniczono do wykazujących szersze rozprzestrzenienie i posiadających większe znaczenie gospodarcze piaskowców jurajskich.

2. Cele pracy

Celem badawczym pracy było określenie wpływu procesów sedymentacyjnych i diagenetycznych na litologię piaskowców z analizowanych złóż. Celem aplikacyjnym pracy była natomiast ocena przydatności piaskowców o zróżnicowanej litologii, ukształtowanej w wyniku wyżej wymienionych procesów, do zastosowań jako kamienie architektoniczne.

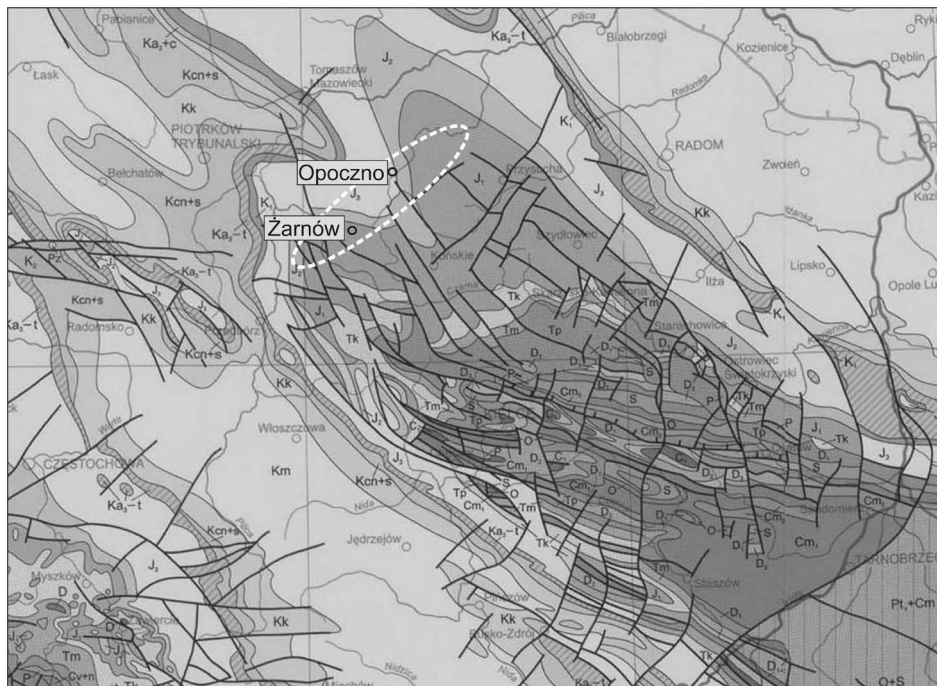
Piaskowce wykorzystywane jako kamienie architektoniczne muszą posiadać odpowiednie właściwości użytkowe. Skały te powinny przede wszystkim spełniać wymagania jakościowe stawiane przez odbiorców w zakresie właściwości fizyczno-mechanicznych, a ponadto posiadać korzystne walory dekoracyjne, decydujące o atrakcyjności wizualnej wykonanych z nich elementów kamiennych. Trzecim ważnym czynnikiem w przypadku rozpatrywanych kopalin jest odpowiednio wysoki udział możliwych do pozyskania prostopadłościennych brył, o odpowiednich wymiarach, zwanych blokami. Ich udział w objętości złoża zwany jest blocznością. Wymienione właściwości użytkowe determinują przydatność piaskowców do różnego rodzaju zastosowań.

Głównym kierunkiem wykorzystania piaskowców blocznych jest obecnie produkcja płyt okładzinowych wewnętrznych i zewnętrznych, a w mniejszym zakresie również różnego rodzaju elementów profilowanych (np. kolumny, parapety) zaspokajająca rosnące potrzeby branży budowlanej. Mniejsze elementy foremne z piaskowców, czyli tzw. formak lub kamień murowy, cięte płytki o zadanych wymiarach i zróżnicowanej fakturze kamieniarskiej (tzw. boniówka), a także cienkie kształtki niepoddawane żadnym dodatkowym procesom obróbczym (określane jako „łupanka” lub „dzikówka”) znajdują natomiast szereg zastosowań m.in. w obiektach małej architektury.

Kompleksowa charakterystyka analizowanych w pracy piaskowców jurajskich, obejmująca zarówno ich cechy sedymentacyjno-litologiczne, jak też parametry jakościowe, przeprowadzona została z uwzględnieniem różnych kierunków wykorzystania tych skał, a zatem w podziale na odmiany bloczne oraz odmiany do tego celu nieprzydatne.

3. Zarys budowy geologicznej obszaru badań

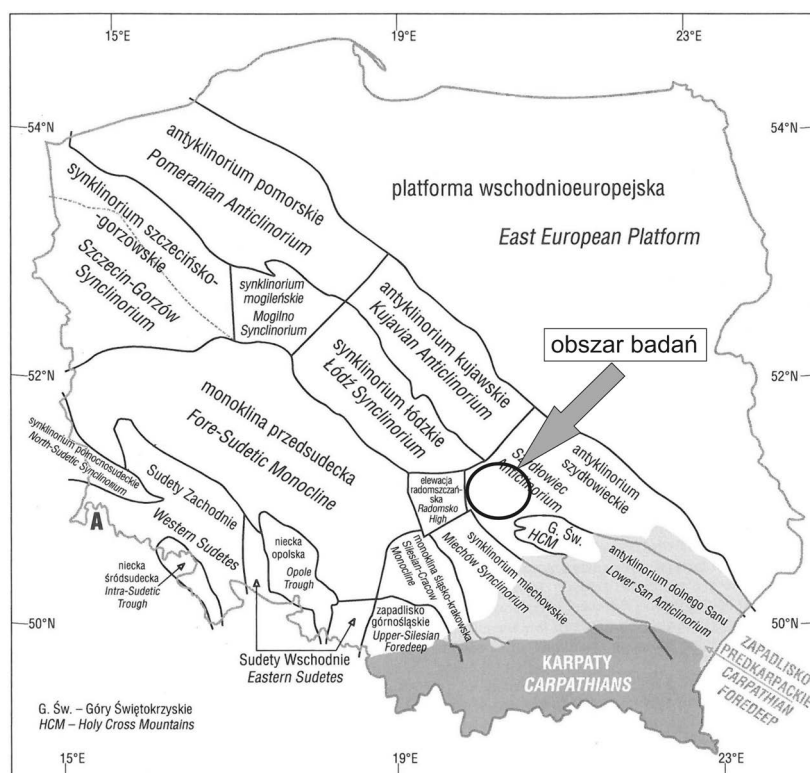
Obszar badań położony jest w obrębie wychodni skał **jurajskich** w **północno-zachodnim permo-mezozoicznym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich** (rys. 3.1). W publikacjach dotyczących budowy geologicznej omawianego obszaru istnieją pewne rozbieżności dotyczące nazewnictwa, podziału oraz zasięgu przestrzennego wyróżnianych na tym obszarze jednostek tektonicznych.



Rys. 3.1. Położenie obszaru badań (biała przerywana linia) na tle zasięgu utworów permo-mezozoicznych w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich (mapa bez pokrywy kenozoicznej)
(Dadlez, Marek i Pokorski 2000)

Fig. 3.1. Location of the investigated area (white dashed line) on the background of Permian-Mesozoic deposits range in the margin of the Świętokrzyskie Mountains (geological map without Cenozoic deposits)

Wyniki wieloletnich badań z zakresu tektoniki analizowanego obszaru podsumował w 2008 r. Karnkowski. Według najnowszej regionalizacji tektonicznej Nizy Polskiego opracowanej przez Komitet Nauk Geologicznych PAN (Karnkowski 2008; Żelaźniewicz i in. 2011) obrzeżenie trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich obejmuje południową część antyklinorium śródpolskiego wraz z obszarami brzeżnymi graniczącymi z nim synklinoriów. Stanowiące przedmiot pracy złoża piaskowców jurajskich położone są w obrębie **antyklinorium szydlowieckiego**, stanowiącego regionalną jednostkę tektoniczną wchodzącą w skład **antyklinorium śródpolskiego** (wyróżnianą w obrazie podkenozoicznym; rys. 3.2).



Rys. 3.2. Lokalizacja obszaru badań (czarna pogrubiona linia) na tle głównych jednostek tektonicznych na powierzchni podkenozoicznej na Nizie Polskiej i obszarach sąsiednich (Karnkowski 2008)

Fig. 3.2. The location of the investigated area (black bolded line) on the background of the major tectonic units on the surface below the Cenozoic deposits of the Polish Lowland and in the adjacent areas

Antyklinorium szydlowieckie

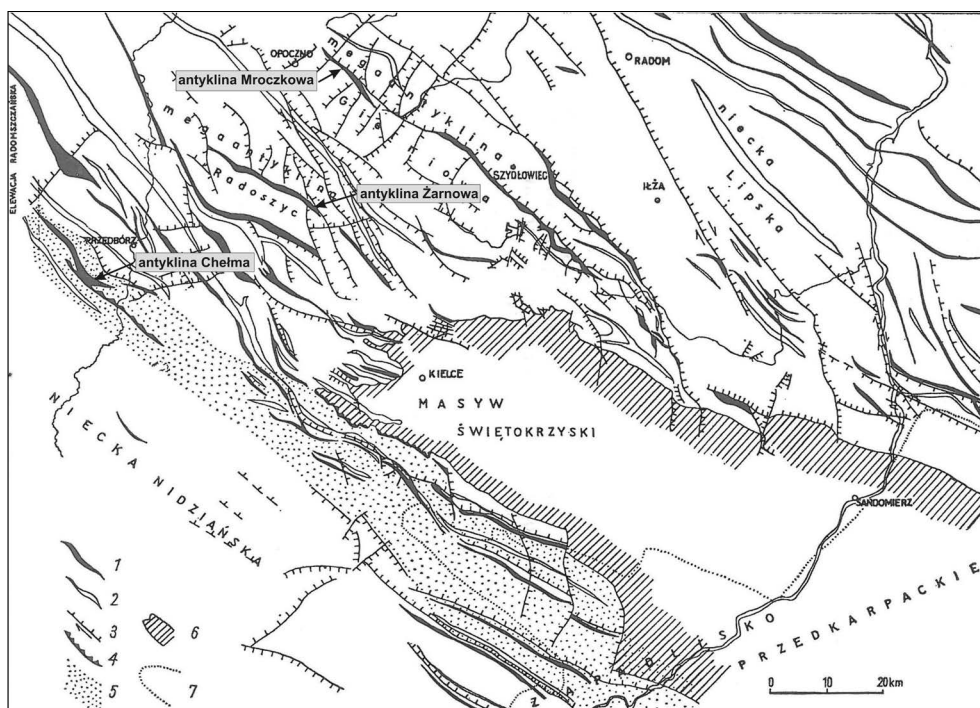
Antyklinorium szydlowieckie stanowi południowy segment antyklinorium śródpolskiego, zwanego również antyklinorium środkowopolskim (Czarnocki 1951; Pożaryski 1974), wałem środkowopolskim (Stupnicka 1997) lub wałem śródpolskim (Hakenberg i Świdrow-

ska 1998; Narkiewicz i Dadlez 2008). Wypiętrzenie to powstało na miejscu osiowej, najsilniej pogrążonej części permo-mezozoicznego basenu polskiego na Niżu Polskim, zwanej bruzdą śródpolską (Dadlez i in. 1994). Antyklinorium śródpolskie przebiega skośnie przez terytorium Polski, od Pomorza zachodniego na północnym-zachodzie, aż po zapadlisko przedkarpackie na południowym-wschodzie. Segment szydlowiecki charakteryzuje się występowaniem utworów permo-mezozoicznych na powierzchni terenu. W tej części oś wału podnosi się w kierunku południowo-wschodnim (tj. w kierunku trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich) i odsłaniają się coraz starsze kompleksy skalne (od jury aż po perm). Antyklinorium szydlowieckie położone jest między elewacją radomszczańską oraz segmentem miechowskim synklinorium szczecińsko-miechowskiego (niecką miechowską) na południowym-zachodzie oraz segmentem puławskim synklinorium kościerzyńsko-puławskiego (niecką lubelską) na północnym-wschodzie (rys. 3.2). Od północno-zachodniej części antyklinorium śródpolskiego oddziela go uskoki Grójca (Dadlez 2006), natomiast w kierunku południowo-zachodnim jednostka ta przechodzi w pasmo fałdowe Gór Świętokrzyskich (Żelaźniewicz i in. 2011).

Występujące na badanym obszarze osady permo-mezozoicznego piętra strukturalnego charakteryzują się budową fałdowo-dysjunktywną. Styl tektoniczny omawianego piętra ukształtowany został głównie w wyniku ruchów tektonicznych fazy starokimeryjskiej oraz laramijskiej orogenezy alpejskiej. Budujące go kompleksy skalne są zasadniczo słabo sfałdowane, poprzecinane uskokami i podzielone na bloki, rowy i zręby tektoniczne.

Pożaryski (1974) w zachodniej części północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich wyróżnia **megaantyklinę Radoszyc**, a w jego części środkowej i wschodniej **megaantyklinę Gielniowa** (rys. 3.3). Struktury te rozdzielone są synkliną Opoczna, która zdefiniowana została przez autora jako przedłużenie synkliny Tomaszowa na obszar wychodni jury. Megaantykliny Radoszyc i Gielniowa stanowią wyniesienia tektoniczne zbudowane z licznych antyklin i synklin o kierunku zbliżonym do NW-SE. Obok struktur tektoniki fałdowej istnieje skomplikowany system deformacji dysjunktywnych o kierunku WNW-ESE, NNW-SSE oraz NE-SW, które dzielą obszar na poprzysuwane i ponachylane względem siebie bloki o budowie monoklinalnej. W obrębie megaantykliny Radoszyc najwyraźniej wyodrębnia się antyklina Żarnowa i Podlasia oraz rozdzielającą je synklina Bulba–Ruda Maleniecka. Z kolei w obrębie megaantykliny Gielniowa wyróżniana jest antyklina Mroczkowa oraz niecka Gielniowa (z wychodniami warstw pliensbachu w jądrze). W prezentowanym ujęciu złoża piaskowców dolnojurajskich udokumentowane są w obrębie **antykliny Żarnowa** oraz **antykliny Mroczkowa** (rys. 3.3). Pierwsza z nich to struktura o przebiegu NNW-SSE zbudowana z osadów górnego triasu i dolnej jury (Janiec 1988, 1993). Jej południowe skrzydło odcięte jest uskokiem odwróconym, natomiast od zachodu ograniczona jest ona uskokiem Czarnej Sulejowskiej. Z kolei antyklina Mroczkowa to struktura płaska z utworami hetangu w jądrze, pocięta licznymi uskokami o przebiegu SW-NE

Bardziej uproszczony obraz podaje Stupnicka (1997), wydzielając w południowej części wału środkowopolskiego antyklinę Gielniowa oraz leżące na jej przedłużeniu – północno-wschodnie obrzeżenie Gór Świętokrzyskich. Antyklina Gielniowa obejmuje obszar



Rys. 3.3. Szkic tektoniczny pięter strukturalnych alpejskich na obszarze antyklinorium świętokrzyskiego i w jego otoczeniu z lokalizacją jednostek tektonicznych, w obrębie których udokumentowane są złoża badanych piaskowców (Pożaryski 1974)

1 – antykliny, 2 – synkliny, 3 – uskoki normalne, przesuwce i fleksury, 4 – uskoki odwrócone i niewielkie nasunięcia, 5 – strefa lineamentu Poznań-Rzeszów, 6 – wychodnie kompleksów paleozoicznych, częściowo pod przykryciem piętra polaramijskiego, 7 – granica zapadliska przedgórskiego orogenu karpackiego

Fig. 3.3. Tectonic sketch map of the structural levels of the Alpine orogeny in the Świętokrzyskie anticlinorium and in the adjacent areas with the location of the tectonic units and sandstones deposit

zawarty w trójkącie Inowłódz–Końskie–Starachowice (Dadlez 1973). Zbudowana jest ona z utworów triasu i jury wykazujących pełne wykształcenie. Jest to struktura szerokopromienna o nachyleniu skrzydeł pod kątem 6–8 stopni. Jej oś przebiega z północnego-zachodu na południowy-wschód, w kierunku zgodnym z kierunkiem wału środkowopolskiego. Z antykliną Gielniowa sąsiaduje antyklina Sulejowa, z osadami triasu w jądrze. Jest to struktura o kierunku osi WNN-ESE, łącząca się z południowo-zachodnią częścią obrzeżenia i zaliczana przez Stupnicką (1997) do zrębu świętokrzyskiego. Od antykliny Gielniowa oddziela ją, wypełniona osadami kredy, synklina Tomaszowa Mazowieckiego, położona w przewadze na terenie niecki łódzkiej. Analizowane w pracy złoża piaskowców położone są na obszarze dwóch wymienionych antyklin.

4. Rozwój poglądów na litostratyografię, warunki sedymentacji oraz znaczenie surowcowe epikontynentalnych osadów jury na analizowanym obszarze

Osady dolnej jury mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich były przedmiotem wielowątkowych badań, obejmujących zarówno ich pozycję stratygraficzną i warunki sedymentacji, jak też możliwości gospodarczego wykorzystania. Najważniejsze wyniki badań dotyczących tektoniki omówione zostały w rozdziale 3.

Litostratygrafia i warunki sedymentacji

Silikoklastyczne utwory liasu wykazują w północnej części osłony mezozoicznej Gór Świętokrzyskich pełne wykształcenie, natomiast w części zachodniej ich profil jest w znacznym stopniu zredukowany (Jurkiewiczowa 1967).

Zarys problematyki dotyczącej warunków sedymentacji oraz litostratygrafii dolnej jury na analizowanym obszarze został dotychczas w literaturze stosunkowo szeroko omówiony.

Pierwszą próbę podziału osadów liasu podjął Samsonowicz (1929), wyróżniając na podstawie wyników kartowania w terenie serię zagajską, gromadziłą, zarzecką oraz ostrowiecką. Informacje pozyskane z obserwacji w odsłonięciach miały charakter fragmentaryczny, obejmując tylko niewielkie odcinki całości profilu osadów dolnojurajskich, stąd też wprowadzony przez autora podział był w kolejnych latach systematycznie modyfikowany i uzupełniany.

Największa intensyfikacja prac nastąpiła po drugiej wojnie światowej, w latach pięćdziesiątych–sześćdziesiątych XX w., w których wykonano kilkaset wierceń o charakterze złożowym. Pozyskane w ich trakcie dane na temat zróżnicowania litofacjalnego oraz biostratygrafii osadów stanowiły podstawę wprowadzenia wielu podziałów regionalnych (Cieśla i Kozydra 1958).

Najbardziej komplementarne ujęcie prezentuje dla północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich Karaszewski (1960, 1962), a dla jego części zachodniej Jurkiewiczowa (1967). Każdy z autorów wyróżnia dziewięć poziomów (serii), ustalając ich wiek i następstwo, przy pewnych rozbieżnościach w zakresie stosowanego nazewnictwa oraz zasięgu poszczególnych wydzieleni.

Zgodnie z Karaszewskim (1960, 1962) do hetangu zaliczona została seria zagajska, skłobska i rudonośna, do synemuru seria ostrowiecka i koszorowska, do pliensbachu seria gielniowska i drzewicka, a do toarku seria ciechocińska i borucicka.

Według Jurkiewiczowej (1967) hetang jest również trójdzielny, obejmując serię zagajską, gromadzicką i zarzecką, w synemurze autorka wyróżnia tylko jedną serię żarnowską, z kolei pliembach dzieli na serię gielniowską i bronowską. Częściowo do pliembachu zalicza również serię podesteriową, w górnej części znajdującą się w granicach najmłodszego piętra toarku, do którego zaklasyfikowana zostaje ponadto seria esteriowa oraz borucicka.

Opracowaniem litostratygrafii świętokrzyskiego liasu zajmowali się również m.in.: Wywicki (1960), Kozydra (1962), Pawłowska (1962) i Dadlez (1962, 1978). Ostatni z wymienionych autorów (Dadlez 1978) podkreślił, iż monotonne na ogół wykształcenie litologiczne epikontynentalnych osadów dolnojurajskich na obszarze Polski oraz częste zmiany facjalne na obszarach nieznacznie oddalonych od siebie, stanowią znaczne utrudnienie w ich rozpoznaniu i korelacji z obszarami sąsiednimi. Autor wskazał na długą listę funkcjonujących w literaturze lokalnych wydzieleni (np. piaskowiec kunowski, piaskowiec szydlowiecki), o nazwach zawierających często człon geograficzny nawiązujący do miejsc ich występowania.

Dadlez (1978) wysunął jednocześnie propozycję uporządkowania i sformalizowania litostratygrafii liasu w Polsce, opracowując nowy, uproszczony podział. W jednym z zaproponowanych przez autora wariantów, na obszarze świętokrzyskim wyróżnionych zostało osiem następujących jednostek: formacja zagajska, skłobska, przysuska, ostrowiecka, gielniowska, drzewicka, ciechocińska oraz borucicka. Rozległy zasięg oraz stosunkowo łatwa identyfikacja osadów górnego liasu, reprezentowanych przez charakterystycznie wykształconą (w dolnej części szarozielone iły z przewarstwieniami mułowców i piaskowców) i dobrze udokumentowaną paleontologicznie (masowe występowanie brakicznych liścionogów *Estheria sp.*) formację ciechocińską oraz nadległą formację borucicką, pozwalał według autora nadać im ogólnokrajowy zasięg.

Podsumowanie wyników dotychczasowych badań oraz zestawienie stosowanych podziałów, z uwzględnieniem elementów biostratygrafii, przedstawił w 1997 r. Deczkowski.

Ujednolicenie stosowanej terminologii nastąpiło jednak dopiero w 2004 r., wraz z wprowadzeniem przez Pieńkowskiego (2004) nowego podziału litostratygraficznego osadów liasu w Polsce (tab. 4.1). Kompleks epikontynentalnych utworów terygenicznych jury dolnej, zdefiniowany przez autora jako tzw. Grupa Kamiennej, obejmuje na obszarze obrzeżenia Gór Świętokrzyskich osiem poziomów o randzie formalnych jednostek stratygraficznych (formacji) oraz dwa ogniwa (ogniwo mułowców Huty w obrębie formacji zagajskiej oraz ogniwo Woli Korzeniowej w obrębie formacji gielniowskiej). Wprowadzony podział zachowuje nadal aktualność i jest obecnie powszechnie stosowany w pracach geologicznych, stąd też stanowił będzie podstawę ustalenia pozycji stratygraficznej analizowanych w pracy złóż piaskowców.

Podział dolnojurajskich kompleksów skalnych na formacje litologiczne (Pieńkowski 2004), a wcześniej serie (Samsonowicz 1929; Karaszewski 1960, 1962; Jurkiewiczowa 1967) i warstwy (Dadlez 1962), opierał się na następstwie osadów o zróżnicowanej miąższości i charakterze litologicznym, odzwierciedlającym warunki panujące w poszczególnych częściach liasowego basenu sedymentacyjnego.

Zmienny udział występowania poszczególnych litofacji w całym profilu liasu oraz w obrębie wydzielonych jednostek (serii) scharakteryzował ilościowo dla północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich Kozydra (1968). Zgodnie z autorem w profilu osadów liasu przeważają kompleksy piaskowcowo-mułowcowe (45%) i piaskowcowe (35,5%), przy podrzędnym udziale ilowców i ilowców mułowcowych (13%), mułowców (5,5%), zlepieńców (1%) oraz syderytów ilastych (>0,5%). Zdecydowanie piaskowcowy charakter mają seria drzewicka, borucicka i gielniowska, w których udział tej facji stanowi powyżej 50%, a ujmując dodatkowo osady piaskowcowo-mułowcowe wzrasta do 90% i więcej (tab. 4.1). Większy udział piaskowców stwierdzono również w profilu osadów serii skłobskiej (38%) i ostrowieckiej* (30%).

Równolegle z badaniami nad litostratygrafią, opisywane były warunki sedymentacji silikoklastycznego kompleksu osadów dolnojurańskich. Wśród opracowywanych zagadnień wiele miejsca poświęcono analizie cykliczności sedymentacji i identyfikacji zasięgu ingresji morskich (Karaszewski 1962, Jurkiewiczowa 1967, Deczkowski 1997). Podejmowano również próby określenia kierunków paleotransportu materiału klastycznego oraz wskazania stanowiących jego źródło obszarów alimetrycznych (Deczkowski 1997).

Największy wkład w określenie środowiska depozycji osadów liasu wniosły prowadzone od lat osiemdziesiątych XX wieku badania Pieńkowskiego (m.in.: 1983, 1985, 1997, 2004, 2006), które jednoznacznie zrewidowały prezentowane początkowo poglądy (Samsonowicz 1929) o głównie lądowej genezie tych utworów.

Wyniki szczegółowych interpretacji paleośrodowiskowych i sedymentologicznych oraz analizy stratygraficzno-sekwencyjnej osadów zawarte w pracy Pieńkowskiego z 2004 r., podsumowującej wieloletni dorobek autora, wskazują, iż akumulacja w epikontynentalnym basenie dolnej jury przebiegała głównie w płytkim zbiorniku brakiczno-morskim (systemy depozycyjne przybrzeżne, barierowo-lagunowe i deltowe), z zaznaczającymi się intensywnymi procesami falowania. Głębokość tego zbiornika sięgała maksymalnie kilkadziesiąt metrów, najczęściej nie przekraczając 20 m. Podrzędnie osady akumulowane były w warunkach lądowych, w środowiskach limniczno-aluwialnych. Zbiorcze zestawienie informacji dotyczących warunków sedymentacji osadów należących do poszczególnych formacji liasu przedstawiono w tabeli 4.1, na podstawie Tabeli Stratygraficznej Polski (dane dla jury; Dadlez i in. 2008).

Rozważania dotyczące środowiska sedymentacji osadów dolnojurańskich ujmowane były najczęściej w szerszym kontekście, w nawiązaniu do uwarunkowań paleoklimatycznych, tektonicznych (zróżnicowane tempo subsydencji regulowane obecnością wgłębnich uskoków), oraz eustatycznych zmian poziomu morza (Deczkowski 1997; Pieńkowski 2004). Regionalna i ponadregionalna skala analiz wynikała z rozległości basenu sedymentacyjnego, obejmującego swym zasięgiem znaczny obszar Polski (od północno-zachodnich granic kraju po przedgórze karpackie) oraz Europy. Analizowany w pracy obszar obrzeżenia Gór

* Łączne dane dla wydzielanej przez Kozydrę serii ostrowieckiej oraz koszorowskiej, które stanowią odpowiednik wiekowy wydzielanej przez Pieńkowskiego (2004) formacji ostrowieckiej.

Świętokrzyskich stanowił bowiem w jurze i całym mezozoiku (po kredę górną) południową, marginalną strefę basenu centralnoeuropejskiego.

Tabela 4.1

Podział litostratygraficzny liasu obrzeżenia Gór Świętokrzyskich według Pieńkowskiego (2004), z uwzględnieniem udziału litofacji piaszczystych i piaszczysto-mułowych według Kozydry (1968) oraz znaczenia surowcowego poszczególnych wydziałów

Table 4.1

Lithostratigraphic division of the Liassic deposits in the margin of the Świętokrzyskie Mountains according to Pieńkowski (2004), including the share of the sandstones lithofacies and sandstones with mudstone intercalations lithofacies according to Kozydra (1968) and the economic significance of the individual units

Piętro	Formacja ¹	Udział facji [%] ^{2*}			Środowisko sedimentacji ³	Znaczenie surowcowe
		PS	PS-M	razem		
Toark	borucicka	54,5	41,0	95,5	rzeki, delty	piaskowce NW obrzeżenia
	ciechocińska	16,0	59,0	75,0	zatok, delty (brzeżne części basenu)	ity ceramiczne budowlanej
Pliensbach	drzewicka	56,0	38,5	94,5	przybrzeże, delty, bariery, laguny	piaskowce NE obrzeżenia (szydlowieckie)
	gielniowska	53,0	36,5	89,5	przybrzeże, bariery, laguny, delty (brzeżne części basenu)	sporadycznie piaskowce
Synemur	ostrowiecka	30,3	66,5	96,8	przybrzeże, rzeki, delty, bariery/laguny	piaskowce NW i NE obrzeżenia
Hetang	przysuska rudonośna	33,0	23,0	56,0	bariery/laguny, delty, przybrzeże/zatok	ity ogniotrwałe i ceramiczne (kamionkowe), syderytowe rudy żelaza
	skłobska	38,0	51,0	89,0	przybrzeże, delty, bariery/laguny (brzeżne części basenu)	piaskowce NW i NE obrzeżenia
	zagajska	8,0	22,0	30,0	rzeki, jeziora	ity ogniotrwałe i ceramiczne (kamionkowe)

¹ Na podstawie: Pieńkowski 2004.

² Na podstawie: Kozydra 1968.

³ Na podstawie: Dadlez i in. 2008.

* Podział według Kozydry (1968) dla dziewięciu serii litostratygraficznych, zmodyfikowany.

PS – facja piaszczysta, PS-M – facja piaszczysto-mułowa.

Cennych informacji na temat warunków sedymentacji analizowanych w pracy piaskowców formacji skłobskiej, ostrowieckiej oraz borucickiej dostarczają publikacje Pieńkowskiego (2004, 2006). Szczegółowy opis struktur sedymentacyjnych oraz środowiska depozycji piaskowców formacji ostrowieckiej z Sielca podaje również Złonkiewicz (2011, 2013).

Istotnym elementem badań stratygraficznych oraz sedymentologicznych były analizy występującej w osadach fauny (m.in. Kopik 1960; Karaszewski 1962; Karaszewski i Kopik 1970) oraz flory (m.in. Gierliński i in. 2006; Marcinkiewicz 1957; Marcinkiewicz i in. 2014; Pieńkowski i Waksmundzka 2009; Rogalska 1956). Szczególnie dużo zainteresowania wzbudzają badania tropów kręgowców, w tym dinozaurów, prowadzone m.in. przez Gierlińskiego i Pieńkowskiego (1999). Ważnym wskaźnikiem paleośrodowiskowym są ponadto obecne w osadach liasu skamieniałości śladowe (np. Karaszewski 1962; Pieńkowski i Niedźwiedzki 2009).

Znaczenie surowcowe

Spośród dolnojurańskich kompleksów skalnych wykazujących przydatność gospodarczą (tab. 4.1) przedmiotem rozważań były dotychczas przede wszystkim ility ogniotrwale i ceramiczne (kamionkowe) formacji zagajskiej i przysuskiej rudonośnej, ility ceramiki budowlanej formacji ciechocińskiej, a także syderytowe rudy żelaza przysuskiej formacji rudonośnej (obecnie o znaczeniu wyłącznie historycznym), analizowane pod kątem genezy oraz jakości przez licznych badaczy (m.in. Krajewski 1947; Wyrwicki 1966; Kozydra 1968; Brański 2008, 2010; Wyszomirski i Galos 2007; Galos 2010).

Pomimo dominującego udziału w profilu liasu kompleksów piaskowcowych i piaskowcowo-mułowcowych, jak też wielowiekowych tradycji ich wydobywania i użytkowania w budownictwie, w literaturze poświęcono im dotychczas stosunkowo niewiele uwagi. Ważniejsze publikacje z tego zakresu to przede wszystkim opracowania Peszata (1973) oraz Pinińskiej (1994), dotyczące zmienności właściwości fizyczno-mechanicznych tych skał. Przedstawione w nich wyniki analiz dotyczą głównie piaskowców północno-wschodniej i południowo-wschodniej osłony mezozoicznej, z rejonu Szydłowca, Kunowa i Podola.

Ogólne informacje na temat wykształcenia litologicznego i właściwości technicznych świętokrzyskich piaskowców dolnojurańskich wykorzystywanych dla celów budowlanych zawierają prace Gągola (1996), Kozłowskiego (1986) oraz Niecia (2002). Z kolei przykłady aplikacji architektonicznych tych skał podają m.in. Urban i Gągol (1994b), Rajchel (2004), Krystek (2009), Kobylec (2008) i Guzik (2013a, 2013b), a wśród literatury branżowej Walendowski (2015). Miejsca historycznej eksploatacji piaskowców wskazują Urban i Gągol (1994b), przy czym pierwszy z wymienionych autorów prowadzi ostatnio w rejonie świętokrzyskim badania piaskowcowych form skałkowych (Urban 2016). Wyniki różnego rodzaju badań terenowych i laboratoryjnych podają również Kobylec (2008), Rembiś (2010), Kłopotowska (2011).

Ogólna charakterystyka petrograficzna osadów dolnojurańskich przedstawiona została m.in. w pracach Przybyłowicz (1967) i Teofilak-Maliszewskiej (1968). Natomiast opisy mikroskopowe próbek piaskowców pochodzących z rdzeni wiertniczych rozproszone są

w wielu publikacjach, w tym m.in.: Kozłowskiej i in. (2010), Kozłowskiej i Kuberskiej (2014).

Wpływ uziarnienia oraz składu mineralnego i chemicznego piaskowców z różnych poziomów liasu na ich przydatność do produkcji materiałów kwasoodpornych określony został przez Kamińskiego i Kubicza (1962). Analiza porównawcza piaskowców żarnowskich z kamieniołomów w Treście Wesołej z piaskowcami eksploatowanymi w rejonie Szydłowca i Podola wykazała ich różną kwasoodporność związaną m.in. z uziarnieniem oraz zawartością krzemionki.

Najnowsze opracowywane zagadnienia obejmują ocenę właściwości kolektorskich piaskowców z różnych struktur geologicznych, analizowanych pod kątem możliwości magazynowania CO₂ (np. Feldman-Olszewska i in. 2010; Tarkowski i in. 2014).

Wyniki dotychczasowych prac, uwzględniających opis zmienności litologicznej i właściwości fizyczno-mechanicznych piaskowców formacji skłobskiej, ostrowieckiej oraz borucickiej ze złóż w NW obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, w granicach analizowanego obszaru (okolice Żarnowa i Mroczkowa Gościnnego) przedstawiono w kilku publikacjach (Guzik 2013a, 2013b, 2016a, 2016b).

5. Historia eksploatacji i użytkowania piaskowców jurajskich w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich

Spośród piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich długie tradycje wydobywania i użytkowania w architekturze dotyczą przede wszystkim piaskowców wydobywanych w okolicach Żarnowa, znanych na rynku kamieniarskim pod lokalną nazwą żarnowskich lub żarnowieckich (Kozłowski 1986). Historia eksploatacji tych skał i ich wykorzystania do wyrobu kamieni młyńskich i żaren sięga co najmniej XI wieku (Janiec 1993), na co wskazuje funkcjonująca już wówczas nazwa miejscowości Sarnov (czyli Żarnów), wymieniana w Bulli papieża Innocentego II. W przeszłości omawiane piaskowce znajdowały szereg różnorodnych zastosowań, takich jak produkcja oselek i toczydeł (Urban i Gągoł 1994b) oraz łatwy w obróbce materiał rzeźbiarski, wykorzystywany m.in. na nagrobki na miejscowych cmentarzach. Użytkowane były również w budownictwie, jako kamień konstrukcyjny, z przeznaczeniem m.in. do wznoszenia obiektów sakralnych. W odróżnieniu od pozyskiwanych w ośrodkach kamieniarskich w Kunowie oraz Szydłowcu piaskowców jurajskich, wykorzystywanych na szeroką skalę do produkcji elementów architektonicznych i rzeźbiarskich już od XV–XVII wieku (Urban i Gągoł 1994a, b; Urban i Kowalski 2004), surowce te miały znaczenie głównie lokalne (Rajchel 2004). Jednym z ważniejszych historycznych zastosowań architektonicznych omawianych piaskowców była prawdopodobnie neogotycka rozbudowa kościoła św. Mikołaja w Żarnowie (1903 r.; Walendowski 2015). Niewykluczone, że materiał ten wykorzystany został również na wcześniejszych etapach konstrukcji tej romańskiej świątyni, wzniesionej w XII wieku (Wilk i in. 2004), aczkolwiek wyniki badań Krystka (2009, 2010) nie są w tej kwestii jednoznaczne.

Stosunkowo wcześniej, bo już w XV wieku, wydobywanie piaskowców prowadzone było również na tzw. Diablej Górze (Dekowski 1983). U podnóża tego wzniesienia udokumentowano współcześnie złoża piaskowców w Wolicy.

O eksploatacji piaskowców w okolicach Żarnowa, prowadzonej bezpośrednio po drugiej wojnie światowej, wspominają Urban i Gągoł (1994a). Skały te wykorzystywane były w tym okresie przede wszystkim do odbudowy zniszczeń poczynionych na terenie Warszawy. Z kolei wzmianki o intensywnej eksploatacji piaskowców w rejonie Tresty Wesołej w latach sześćdziesiątych XX wieku, znajdują się w pracy Kamińskiego i Kubicza (1962). Z informacji podawanych przez Jańca (1993) wynika, iż skały te wykorzystywane były w okresie międzywojennym jako okładziny wani szklarskich.

Współczesna eksploatacja złóż piaskowców jurajskich w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich zapoczątkowana została w 1978 r. w Żarnowie (Wilk i in. 2004). Przez wiele lat formalnie udokumentowane i eksploatowane na analizowanym obszarze było wyłącznie złożo Żarnów. W 1980 r. rozpoznano wprawdzie złożo Ruszenice, jednak do tej pory pozostaje ono nieudostępnione, choć należy zauważyć że w 1995 r. w jego południowej części udokumentowano złoża Dąbie I oraz Dąbie II. Eksploatacja kolejnych złóż, tj.: Sielec I, Dąbie I, Sielec II oraz Tresta Wesoła uruchomiona została dopiero w latach dziewięćdziesiątych XX wieku. Znaczący wzrost liczby udokumentowanych złóż oraz wielkości wydobycia piaskowców w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich miał miejsce w ostatnich kilkunastu latach (tab. 5.1). Warto w tym miejscu podkreślić, iż na przestrzeni wieków zmieniły się kierunki wykorzystania materiałów kamiennych w budownictwie. W konsekwencji miejsce piaskowcowych materiałów ciosowych, wykorzystywanych jako materiał konstrukcyjny, zajęły płyty okładzinowe, zdobiące fasady budynków oraz ich wnętrza. Dużą popularnością cieszą się obecnie również pozyskiwane ze złóż piaskowców jurajskich niewielkich rozmiarów kształtki, wykorzystywane jako płytki elewacyjne, a także w obiektach małej architektury, jako kamień ogrodowy, do budowy murków oraz ogrodzeń.

Łączna wielkość wydobycia piaskowców liasowych ze złóż zlokalizowanych w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, w województwie łódzkim, kształtująca się do 2000 roku na poziomie kilku tys. Mg/rok, w kolejnych latach wzrosła do 14–33 tys. Mg/rok, a maksymalnie nawet 55 tys. Mg w 2009 r. (tab. 5.1). Największy udział w wydobyciu miały do niedawna piaskowce formacji ostrowieckiej, z największą liczbą udokumentowanych i eksploatowanych złóż – w 2015 r. odpowiednio 23 i 9 złóż. Skały te pozyskiwane były w latach 2000–2015 w łącznej ilości 3–30 tys. Mg/rok. W kolejnych dwóch latach przewagę zyskały jednak piaskowce formacji borucickiej, z wielkością wydobycia 8–12 tys. Mg/rok (trzy spośród dziewięciu udokumentowanych złóż były w 2015 r. eksploatowane). Najniższy poziom wydobycia (nie więcej niż 2 tys. t/rok) notowany jest w przypadku piaskowców formacji skłobskiej. W 2015 r. eksploatowane były dwa spośród sześciu udokumentowanych złóż.

Wydobywanie piaskowców jurajskich w omawianej części obrzeżenia prowadzone jest niemal wyłącznie na terenie województwa łódzkiego, przez kilkanaście firm, z których każda pozyskuje od kilkuset Mg do kilku tysięcy Mg kopaliny rocznie, z przeznaczeniem do produkcji różnego rodzaju elementów kamiennych (tab. 5.2). Tylko sporadycznie wielkość wydobycia w pojedynczej kopalni przekracza 10 tys. Mg/r. Przedmiotem eksploatacji są na ogół złoża niewielkie, o zasobach od kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy Mg każde. Znaczne rozdrobnienie obszarów złożowych związane jest na ogół z własnością gruntu. W efekcie eksploatacja sąsiadujących ze sobą złóż prowadzona jest w wielu przypadkach we wspólnym wyrobisku, przez różnych użytkowników. Na analizowanym obszarze obserwowana jest również częsta zmiana granic dokumentowania złóż, wynikająca m.in. z podziału większych obszarów złożowych.

Nie sposób wymienić wszystkie obiekty, w których omawiane w pracy piaskowce dolno-jurajskie zostały współcześnie wykorzystane, w szczególności uwzględniając długą listę ich

Tabela 5.1

Wielkość wydobycia oraz dynamika zmian liczby udokumentowanych i eksploatowanych złóż piaskowców jurajskich w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, w województwie łódzkim, w latach 2000–2015
(Bilans zasobów... 2016 i wydania poprzednie, wybrane arkusze SMGP, informacje własne)

Table 5.1

The amount of output and the dynamic of changes in the number of recognized and exploited Jurassic sandstones deposits in the north-western margin of the Świętokrzyskie Mountains, in the Łódź Province, in the years 2000–2015
(Mineral Resources Datafile... 2016 and previous issues, selected sheets of the Detailed Geological Map of Poland in scale 1:50 000, author's data)

Rok	2000	2004	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Wydobycie ogółem [tys. Mg]	3	33	31	55	28	19	22	14	17	19
Piaskowce formacji borucickiej	–	1	2	32	13	6	9	6	8	12
Piaskowce formacji ostrowieckiej	3	30	29	23	15	13	12	7	7	6
Piaskowce formacji skłobskiej	0	2	0	–	0	0	1	1	2	1
Liczba eksploatowanych złóż	4	6	17	19	15	17	13	12	17	14
Piaskowce formacji borucickiej	–	1	1	4	4	3	4	4	5	3
Piaskowce formacji ostrowieckiej	3	4	15	15	9	12	7	6	10	9
Piaskowce formacji skłobskiej	1	1	1	–	2	2	2	2	2	2
Liczba udokumentowanych złóż	12	12	30	33	31	35	37	38	38	38
Piaskowce formacji borucickiej	3	3	6	7	7	8	8	9	9	9
Piaskowce formacji ostrowieckiej	7	7	22	22	22	23	23	23	23	23
Piaskowce formacji skłobskiej	2	2	2	4	2	4	6	6	6	6

Tabela 5.2

Producenci piaskowcowych elementów kamiennych w województwie łódzkim oraz ich asortyment produkcji
(Baza danych MIDAS, stan na 31.12.2016; informacje własne)

Table 5.2

Producers of the dimension stone elements from the sandstones in the Łódź Province
and the assortment of their production (The MIDAS database of the Polish Geological Institute-National Research
Institute, as of 31 December 2016; author's data)

Złoże	Producent	Asortyment produkcji
<i>Piaskowce formacji borucickiej</i>		
Dąbie IV	Obróbka i Sprzedaż Kamienia J. Król	– kamień murowy – bloki – płyty – kominki – kamień ogrodowy
Dąbie III	Zakład Handlowo-Wydobywczy Piaskowca T. Fidelus	
Pilichowice I	P. Borończyk	– płytki elewacyjne, tzw. dzikówka – kamień ogrodowy
<i>Piaskowce formacji ostrowieckiej</i>		
Kraszków-1	Przedsiębiorstwo Wielobranżowe APIS J. Krajewski	– płytki elewacyjne, tzw. dzikówka – kamień murowy – kamień ogrodowy
Mroczków Gościnny-5	Okna Wikar Z. Wiktorowicz, PHUP Grudzień W. Grudzień	
Mroczków Gościnny-6	Zakład Kamieniarski M. Morawska	
Sielec I	Zakład Kamiennych Materiałów Budowlanych A. Kosek	– bloki – płyty – elementy profilowane – formak – kamień ogrodowy
Sielec IV		
Sielec II	Zakład Kamiennych Materiałów Budowlanych E. Przybył	– bloki – płyty – kominki
Tresta Wesola IV	J. Słowikowski	– płytki elewacyjne – kamień ogrodowy
Tresta Wesola VI	Wydobywanie, Obróbka i Sprzedaż Piaskowca, P. Zieliński	
Żarnów 1	Zakład Obróbki Kamienia Budowlanego R. Kaczmarczyk	– bloki – płyty – kominki – kamień murowy – kamień ogrodowy – płytki cięte, tzw. boniówka
<i>Piaskowce formacji skłobskiej</i>		
Wolica II	Zakład Kamieniarski Wolica W. Świątkowski, Wydobywanie i Obróbka Piaskowca	– bloki – płyty – kominki – elementy profilowane – kamień ogrodowy – płytki elewacyjne dzikówka
Wolica VI	PHU Kameks, A. Gołąb	– kamień ogrodowy

zastosowań w budownictwie lokalnym. Przykłady aplikacji architektonicznych wykonanych z nich płyt okładzinowych zewnętrznych lub wewnętrznych, podawane są m.in. w publikacjach Guzik (2013a, b, 2016b) oraz Walendowskiego (2015).

Z informacji udostępnionych przez producentów wynika, iż piaskowce formacji ostrowieckiej stosowane są szczególnie często na terenie Warszawy (m.in. osiedle Prezydenckie, budynek Giełdy Papierów Wartościowych, siedziby Fundacji im. Stefana Batorego, Citibanku Handlowego, kina Praha, Europejskiego Centrum Inwestycyjnego, salonu Volkswagena, liczne apartamentowce) i innych większych miast w Polsce, w tym Krakowa (dawny budynek Citibanku Handlowego), Poznania (Murawa Office Park), Rzeszowa (Urząd Marszałkowski Województwa Podkarpackiego), Płocka (Muzeum Mazowieckie), Łodzi (budynek firmy Philips) i Torunia. Jednym z najbardziej okazałych zastosowań piaskowców formacji skłobskiej jest elewacja budynku kampusu Politechniki Opolskiej w Opolu. Z kolei piaskowce formacji borucickiej użytkowane są najczęściej na potrzeby lokalne, w tym np. na okładziny kominków, grillów oraz do budowy ogrodzeń. Ze złóż zaliczanych do każdej z wymienionych formacji prowadzone jest również wydobywanie niewielkich kształtek wykorzystywanych m.in. w architekturze ogrodowej. Wybrane przykłady zastosowania piaskowców ilustrują fotografie na planszy I.

6. Przedmiot i metodyka badań

6.1. Wybór i lokalizacja złóż do badań

W pasie wychodni osadów jurajskich w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich udokumentowanych zostało 41 złóż piaskowców, o łącznych zasobach 7 547 tys. Mg (stan na 31.12.2015, Bilans zasobów... 2016).

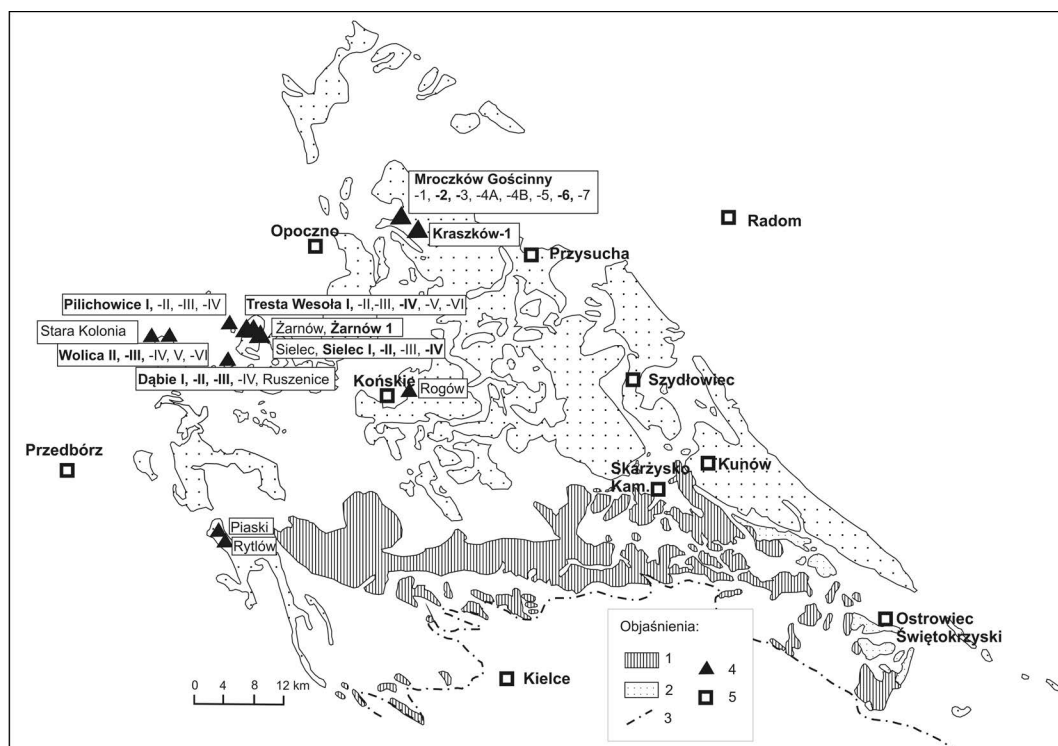
W ramach pracy przeprowadzono badania 15 złóż piaskowców (rys. 6.1 i 6.2), zestawionych w tabeli 6.1 i reprezentujących wszystkie eksploatowane na analizowanym obszarze piętra jury dolnej. Złoża położone są na trzech arkuszach Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski (SMGP). W kierunku z SW na NE są to arkusze o numerach: 738 Lubień (Grzybowski i Kutek 1967), 739 Żarnów (Janiec 1988) oraz 704 Opoczno (Ziomek 2001). Analizowane w pracy złoża były w ostatnich latach przedmiotem regularnej bądź okresowej eksploatacji. O wyborze konkretnych obiektów decydowała dostępność wyrobisk do obserwacji terenowych oraz możliwość pobrania prób do badań laboratoryjnych. Z tego względu z rozważań wykluczono złoża nieudostępniowane. W przypadku złóż zagospodarowanych decydujące znaczenie miały wyniki przeprowadzonej wizji lokalnej.

Stosując podział osadów jury dolnej wprowadzony przez Pieńkowskiego (2004) oraz na podstawie wybranych arkuszy SMGP piaskowce liasowe z analizowanych złóż zaklasyfikowane zostały do trzech formacji litostratygraficznych (tab. 6.1, rys. 6.2), tj.:

- borucickiej (piętro toark) – cztery złoża,
- ostrowieckiej (piętro synemur) – dziewięć złóż,
- skłobskiej (piętro hetang) – dwa złoża (pozycja stratygraficzna ustalona na podstawie publikacji Pieńkowskiego z 2004 r.).

Do formacji skłobskiej zaliczono w pracy złoża piaskowców w Wolicy, pomimo iż zgodnie z SMGP znajdują się one w granicach wychodni serii borucickiej (Grzybowski i Kutek 1967). Pozycja stratygraficzna omawianych złóż ustalona została na podstawie nowszych wyników badań Pieńkowskiego (2004), bazujących na szczegółowej analizie sekwencyjno-sedymologicznej.

Analizowane w pracy złoża piaskowców zlokalizowane są w województwie łódzkim, między Wolicą na południowym-zachodzie a Mroczkowem Gościennym na północnym-wschodzie (rys. 6.2), w tym:



Rys. 6.1. Lokalizacja złóż piaskowców jurajskich udokumentowanych w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich na tle występowania kompleksów piaskowcowych triasu i jury (wg Ruśkiewicz-Saab i Kita-Badak 1978, zmodyfikowany)

- 1 – obszary występowania piaskowców triasu, 2 – obszary występowania piaskowców jury,
3 – północna granica trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich, 4 – złoża piaskowców jury
(analizowane w pracy złoża piaskowców zaznaczono pogrubioną czcionką), 5 – większe miejscowości

Fig. 6.1. Location of the investigated deposits of sandstones on the background of the sketch map with the extent of the Jurassic and Triassic sandstones complexes in the margin of the Świętokrzyskie Mountains (according to Ruśkiewicz-Saab and Kita-Badak 1978, modified)

- 1 – range of Triassic sandstones occurrence, 2 – range of Jurassic sandstones occurrence, 3 – the Northern boundary of the Paleozoic core of the Świętokrzyskie Mountains, 4 – Jurassic sandstones deposits (investigated in the paper deposits of sandstones marked in bold), 5 – larger towns

- złoża piaskowców formacji skłobskiej na południowy-zachód od Żarnowa w miejscowości Wolica;
- złoża piaskowców formacji ostrowieckiej na południowy-zachód od Żarnowa w Sielcu i Treście Wesołej oraz na północny-wschód od Opoczna w Mroczkowie Gościnnym oraz Kraszkowie;
- złoża piaskowców formacji borucickiej na południowy-zachód i północny-zachód od Żarnowa w Dąbiu i Piłichowicach.



Rys. 6.2. Rozmieszczenie analizowanych w pracy złóż piaskowców

Fig. 6.2. Occurrence of the analyzed sandstones deposits

Tabela 6.1

Wykaz analizowanych złóż piaskowców jurajskich (stan na 31.12.2015, Bilans zasobów... 2016)

Table 6.1

List of examined Jurassic sandstones deposits (as of 31 December 2015, Mineral Resources Datafile... 2016)

Piętro	Formacja	Złoże	Zasoby bilansowe [tys. Mg]	Stan zagospodarowania
Toark	borucicka	Dąbie I	195	Z
		Dąbie II ¹	145	Z
		Dąbie III	212	E
		Pilichowice I	39	E
Synemur	ostrowiecka	Kraszków-1	91	E
		Mroczków Gościnny-2	5	T
		Mroczków Gościnny-6	9	E
		Sielec I	129	E
		Sielec II	253	E
		Sielec IV	213	E
		Tresta Wesola I	154	T
		Tresta Wesola IV	104	E
		Żarnów 1	336	E
Hetang	skłobska	Wolica II	97	E
		Wolica III	–	M

¹ Zmiana granic udokumentowanego złoża; obecnie złożo udokumentowane częściowo w granicach eksplo-
atowanego złoża Dąbie IV.

E – złożo eksploatowane, T – złożo zagospodarowane, eksploatowane okresowo, Z – złożo, w którym
wydobycie zostało zaniechane, M – złożo skreślone z bilansu zasobów w roku sprawozdawczym.

Rozmiary wybranych do badań wyrobisk złożowych miały zróżnicowaną wielkość, od rozległych wielopoziomowych kopalń (np. Żarnów 1), po niewielkie kamieniołomy o długości kilkunastu metrów (Pilichowice I).

Wyłączone z prowadzonych w ramach pracy badań zostały złoża piaskowców jurajskich udokumentowane w północno-zachodniej części mezozoicznej osłony, w województwie świętokrzyskim (Piaski, Rogów, Rytlów), które nie mają obecnie większego znaczenia gospodarczego i praktycznie nie są przedmiotem eksploatacji.

6.2. Badania terenowe

W ramach badań terenowych piaskowce z każdego z analizowanych wyrobisk złożowych zostały scharakteryzowane pod kątem wykształcenia litologicznego. Dla wybranych złóż opracowano profile litologiczne. Szczególną uwagę zwrócono na rodzaj występujących struktur sedimentacyjnych, dostarczających cennych informacji na temat środowiska depozycji piaskowców, określonego w pracy na podstawie materiałów zebranych w trakcie studiów literaturowych. Przeprowadzone badania pozwoliły na skompletowanie danych na temat zmienności litologicznej i warunków powstawania piaskowców zaliczanych do różnych formacji litostratygraficznych.

Zmienność piaskowców w zakresie uławicenia, barwy, struktury, tekstury oraz stopnia zwięzłości stanowiła podstawę wyróżnienia w wyrobiskach analizowanych złóż odmian piaskowców o zróżnicowanych walorach użytkowych. Wydzielano odmiany bloczne oraz nieprzydatne do produkcji bloków. Jako graniczną miąższość ławic, na podstawie której piaskowce zaliczane były do poszczególnych grup przyjmowano 40 cm. Zgodnie ze stosowaną w pracy klasyfikacją uławicenia według Peszaty (1997) odmiany bloczne odpowiadały zatem piaskowcom bardzo gruboławicowym (>201 cm), gruboławicowym (51–200 cm) oraz częściowo piaskowce średnioławicowe (11–50 cm).

Z każdej odmiany piaskowców pobrane zostały próbki do badań laboratoryjnych (tab. 6.2). Ilość próbek przypadających na poszczególne odmiany uzależniona była od częstości ich występowania i rozprzestrzenienia w profilach analizowanych złóż.

6.3. Badania laboratoryjne

6.3.1. Badania petrograficzne

Podstawową metodą badań piaskowców była zaliczana do metod optycznych mikroskopia polaryzacyjna w świetle przechodzącym. W ramach tej metody przeprowadzono obserwacje mikroskopowe płytek cienkich, a także mikroskopową analizę ilościową wybranych składników mineralnych i analizę granulometryczną w preparatach reprezentatywnych dla każdej z wyróżnionych odmian piaskowców. Uzupełnieniem klasycznych badań mikrosko-

Tabela 6.2

Zestawienie rodzaju wykonanych badań oraz liczby pobranych próbek

Table 6.2

List of the performed analyses and taken samples

Formacja	Złoże	Liczba pobranych próbek	Symbol próbki	Badania petrograficzne (liczba próbek)				Badania właściwości fizyczno-mechanicznych (liczba próbek)
				mikroskopia optyczna	analiza ilościowa	analiza granulometryczna	analiza SEM/EDS	
borucicka	Dąbie I/Dąbie II/Dąbie III	12	D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, D-7, D-8, D-9, D-10, D-11, D-12	7	6	6	2	12
	Plichowice I	1	PI-1	1	1	1	-	1
	Razem	13	-	8	7	7	2	13
ostrowiecka	Kraszków-1	2	KR1-1, KR1-2	2	1	1	1	2
	Mroczków Gościmny-2	1	MG-1	1	1	-	-	1
	Mroczków Gościmny-6	1	MG-2	1	1	1	1	1
	Sielec I	8	SI-1, SI-2, SI-3, SI-4, SI-5, SI-6, SI-7, SI-8	5	5	3	1	8
	Sielec II	2	SII-1-SII-2	1	1	1	-	2
	Sielec IV	6	SIV-1, SIV-2, SIV-3, SIV-4, SIV-5, SIV-6	5	5	3	3	6
	Tresta Wesoła I	5	TWI-1, TWI-2, TWI-3, TWI-4, TWI-5	5	2	2	1	5
	Tresta Wesoła IV	1	TWIV-1	1	-	-	-	1
	Żarnów I	9	Ż1-1, Ż1-2, Ż1-3, Ż1-4, Ż1-5, Ż1-6, Ż1-7, Ż1-8, Ż1-9	6	5	2	3	9
	Razem	35	-	27	21	13	10	35
	WolicaII/Wolica III	14	W-1, W-2, W-3, W-4, W-5, W-6, W-7, W-8, W-9, W-10, W-11, W-12, W-13, W-14	4	4	4	1	14
	Razem	14	-	4	4	4	1	14
skłobska	Razem jura	62	-	39	32	24	13	62

powych była elektronowa mikroskopia skaningowa (SEM), w połączeniu z analizą składu chemicznego przy użyciu spektrometru rentgenowskiego (EDS). Zestawienie rodzaju wykonanych badań i ilości analizowanych próbek podano w tabeli 6.2.

6.3.1.1. Obserwacje mikroskopowe w świetle przechodzącym

Obserwacje 39 płytek cienkich (nakrytych polerowanych na tlenku chromu oraz odkrytych polerowanych na zawieszinie diamentowej) przeprowadzono w mikroskopie polaryzacyjnym do światła przechodzącego, typu Optihot-Pol UFX-DX. Badano cechy piaskowców, które wpływają na właściwości fizyczno-mechaniczne skał i możliwości ich wykorzystania jako kamieni blocznych. Dla wszystkich analizowanych preparatów określono:

- **skład mineralny materiału detrytycznego oraz rodzaj i sposób wykształcenia spoiwa,**
- **uziarnienie,** zgodnie z podziałem na frakcje i podfrakcje według Pettijohna i in. (1972),
- **stopień obtoczenia,** według wzorca Powersa (1953),
- **kierunkowość ułożenia składników,**
- **przejawy procesów diagenetycznych** (kompakcji mechanicznej i chemicznej, cementacji, rozpuszczania, zastępowania, przeobrażania i neomorfizmu).

6.3.1.2. Ilościowa analiza mikroskopowa

Analizę ilościową 32 próbek wykonano zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w pracy Ratajczaka i in. (1998). Wykorzystano metodę punktową z zastosowaniem stolika integracyjnego typu ELTINOR. Pomiary polegały na identyfikacji i rejestracji pojawiających się kolejno na linii pomiarowej składników ziarnowych oraz spoiwa. W każdym preparacie, w odstępach dobranych w zależności od wielkości ziarna, wykonano co najmniej 300 zliczeń. Skład ilościowy wyrażono w proc. obj.

Wśród składników ziarnowych wyróżniono: kwarc, okruchy skał (litoklasty), skalenie, łuszczyki i minerały ciężkie. Jako dolną granicę wielkości ziaren szkieletu przyjmowano wartość 0,031 mm. W przypadku spoiwa zastosowano podział na:

- krzemionkowe regeneracyjne – wykształcone w formie obwódek na ziarnach kwarcu,
- żelaziste – występujące w postaci samodzielnych skupień w przestrzeniach porowych;
- krzemionkowo-ilasto-żelaziste – wspólna pozycja obejmująca pozostałe formy spoiwa krzemionkowego (mikrokrystaliczna krzemionka, pojedyncze agregaty chalcedonu), spoiwo ilaste oraz spoiwo typu matrix.

Poza wymienionymi grupami w jednym preparacie stwierdzono spoiwo węglanowe.

Na podstawie uzyskanych wyników określono pozycję systematyczną piaskowców, zgodnie z klasyfikacją Pettijohna (1972).

6.3.1.3. Analiza granulometryczna

Badania prowadzono podobnie do omówionej wcześniej analizy ilościowej metodą punktową, mierząc maksymalne średnice ziaren w 24 płytkach cienkich. Często stosowaną praktyką jest wcześniejsza selekcja składników detrytycznych do badań, w zależności od ich kształtu (Stańczak i Figarska-Warchoł 2016). W przypadku analizowanych próbek z pomiarów wyłączono charakteryzujące się wydłużoną formą łyszczki. Kierując się zaleceniami Ratajczaka i in. (1998) w zależności od analizowanego preparatu wykonano od ponad 200 do ponad 300 zliczeń. Wyniki pomiarów wyrażone w mm, przeliczono na jednostki phi i przedstawiono na wykresach typu skrzynkowego, konstruowanych na podstawie wyznaczonych wartości parametrów statystycznych (wartość minimalna, maksymalna, pierwszy kwartyl, mediana i trzeci kwartyl).

Uzyskane w trakcie analizy granulometrycznej zbiory wartości (wymiary średnich średnic) posłużyły do obliczenia trzech podstawowych parametrów charakteryzujących rozkład uziarnienia, według następujących wzorów Folka i Warda (1957):

— graficzna średnia średnica:

$$\text{GSS} = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} [\text{phi}],$$

— graficzne odchylenie standardowe (graficzny wskaźnik wysortowania):

$$\text{GSO} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} [\text{phi}],$$

— graficzna skośność (graficzny wskaźnik asymetrii):

$$\text{GSK} = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - 2\phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - 2\phi_5)}$$

gdzie:

$\phi_5, \phi_{16}, \phi_{50}, \phi_{84}, \phi_{95}$ — wartości percentyli odczytane z krzywych kumulacyjnych rozkładu uziarnienia skał.

6.3.1.4. Obserwacje w skaningowym mikroskopie elektronowym z analizatorem chemicznym (SEM/EDS)

Wybranych 13 próbek, napyłonych węglem, poddanych zostało obserwacjom w skaningowym mikroskopie elektronowym HITACHI S-4700, z systemem mikroanalizy EDS NORAN Vantage. Badania wykonano w Pracowni Mikroskopii Skaningowej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Obserwacje przeprowadzono

w wiązce elektronów wstecznie rozproszonych (BSE) i wtórnych (SE), na odłamkach skalnych i odkrytych płytkach cienkich. Zastosowana metoda pozwala na uzyskiwanie dużych powiększeń (do 500 000×) i jednoczesną analizę składu chemicznego obserwowanych składników (punktową i w wybranym mikroobszarze). Wykorzystana została głównie w celu jednoznacznej identyfikacji składników spoiwa piaskowców i określenia formy ich występowania, a także obserwacji efektów przemian diagenetycznych.

6.3.2. Badania właściwości fizyczno-mechanicznych

Badania właściwości fizyczno-mechanicznych obejmowały oznaczenie gęstości objętościowej, nasiąkliwości wagowej i objętościowej oraz wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym. Jako metodę uzupełniającą zastosowano nieniszczące badania ultradźwiękowe, w ramach których pomierzono prędkość fali podłużnej w stanie powietrzno-suchym i nasycenia wodą. Przydatność tej metody w ocenie niejednorodności ośrodka skalnego potwierdzają liczne publikacje (m.in.: Dziedzic 2005; Bromowicz i Figarska-Warchoł 2010; Pinińska 1994).

Badania przeprowadzono na 62 sześciennych kostkach, o długości krawędzi 5 cm, wyciętych z pobranych w wyrobiskach złóż próbek skalnych. W celu zapewnienia dokładnego przylegania aparatury pomiarowej (prasy do badań wytrzymałości, głowic ultradźwiękowych) powierzchnia kostek została wyszlifowana.

6.3.2.1. Oznaczenie gęstości objętościowej, nasiąkliwości wagowej i objętościowej oraz wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym

Oznaczenie gęstości objętościowej (ρ_o) przeprowadzono zgodnie z metodyką normy PN-EN 1936, bez zachowania warunków ciśnienia. Oznaczenie nasiąkliwości wagowej (N_w) przeprowadzono zgodnie z metodyką normy PN-EN 13755 a następnie stosując odpowiednie formuły obliczeniowe* określono wartość nasiąkliwości objętościowej (N_o), zwanej porowatością otwartą. Pomiar wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym (R_{cs}) przeprowadzono zgodnie z metodyką normy: PN-EN 1926: 2001.

6.3.2.2. Pomiar prędkości fali podłużnej

Prędkość propagacji fali podłużnej V_p zaliczana jest do parametrów akustycznych, związanych z oddziaływaniem drgań sprężystych. Wyznaczana jest za pomocą badań ultradźwiękowych, wykorzystujących energię fal akustycznych o dużej częstotliwości. Fala podłużna charakteryzuje się prostoliniowym drganiem cząstek, zgodnym z kierunkiem

* $N_o = \frac{m_n - m_s}{m_n - m_h}$, gdzie m_n – masa próbki nasyconej wodą [g], m_s – masa próbki wysuszonej do stałej masy [g],

m_h – masa próbki nasyconej wodą mierzona na wadze hydrostatycznej [g].

rozchodzenia się fali. Od fali akustycznej poprzecznej i powierzchniowej odróżnia ją większa prędkość oraz szczególnie w przypadku skał porowatych mniejsza utrata energii. Stąd też jej przydatność do oceny zmienności budowy wewnętrznej materiału skalnego jest odpowiednio większa. Zaletą badań ultradźwiękowych jest ich nieniszczący charakter i możliwa powtarzalność. Prędkość propagacji fal sprężystych uzależniona jest od szeregu czynników litologicznych, w tym m.in.: składu mineralnego, rodzaju spoiwa, struktury, tekstury, upakowania szkieletu ziarnowego i występującej mineralizacji (Pinińska i Płatek 2002). Stwierdzono również jej związek z właściwościami fizyko-mechanicznymi skał (Basista i Krynicki 1981; Pinińska i Płatek 2002), stąd wyniki badań ultradźwiękowych stosowane są często jako kontrola i uzupełnienie badań wytrzymałościowych. Istotny wpływ na tłumienie fal ultradźwiękowych, a tym samym mniejszą prędkość fali podłużnej, mają występujące w skałach pory (niska prędkość fali w powietrzu – około 0,3 km/s) oraz mikroszczeliny (Kanciruk 2008).

Pomiar prędkości fali podłużnej przeprowadzono metodą przejścia, za pomocą defektoskopu ultradźwiękowego typu UMT-17 firmy Unipan z przetwarzaniem cyfrowym. Do badania wykorzystano głowice o częstotliwości 1 MHz. Istotą stosowanej metody stanowi pomiar czasu przejścia przez próbkę impulsu dźwiękowego między głowicą nadawczą i odbiorczą. Jako środek sprzęgający, którego celem jest ograniczenie tłumienia w warstwie powietrza pomiędzy próbką a głowicą zastosowano żel do badań ultrasonograficznych.

Pomiary prowadzono w stanie powietrzno-suchym, a następnie w stanie pełnego nasycenia próbek wodą. Próbki orientowane były względem powierzchni uławicenia skały. Pomiary czasu przejścia fali podłużnej przeprowadzono w trzech kierunkach – A i B (zgodnie z uławiceniem) oraz C (prostopadle do uławicenia). Wyniki pomiaru wyrażone w mikrosekundach odczytano z wykresu. Badania przeprowadzono w trzech seriach (łącznie dla 62 próbek – 1116 pomiarów). W efekcie uzyskano czas przejścia fali podłużnej w kierunku prostopadłym i zgodnym z uławiceniem. Odnosząc go do znanych wymiarów próbki, obliczono prędkość fali wyrażoną w m/s.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie współczynnika anizotropii A, stanowiącego iloraz prędkości fali w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach (Pinińska 1994):

$$A = \frac{V_{p\perp}}{V_{p\parallel}}$$

gdzie:

$V_{p\perp}$ – prędkość propagacji fali podłużnej w kierunku C – prostopadłym do uławicenia [m/s],

$V_{p\parallel}$ – prędkość propagacji fali podłużnej w kierunku A i B – równoległym do uławicenia [m/s].

Drugim wyznaczonym parametrem był wskaźnik zmiany prędkości B, wyrażający zmianę prędkości fali podłużnej po nasyceniu wodą (Pinińska 1994), obliczony według wzoru:

$$B = \frac{V_{pH_2O} - V_{pps}}{V_{pps}} \cdot 100\%$$

gdzie:

- V_{pH_2O} – prędkość propagacji fal podłużnych w stanie pełnego nasycenia [m/s],
 V_{pps} – prędkość propagacji fal podłużnych w stanie powietrzno-suchym [m/s].

7. Omówienie wyników badań

7.1. Wykształcenie litologiczne piaskowców z analizowanych złóż na tle warunków sedymentacji

Piaskowce formacji skłobskiej

Profil osadów formacji skłobskiej dostępny do obserwacji we wspólnym wyrobisku złoża Wolica II oraz Wolica III, ma miąższość około 10 m i jest wyraźnie dwudzielny. Dolną część stanowią piaskowce średnio- i gruboławicowe, górną piaskowce średnio- i cienkoławicowe z przewarstwieniami iłowców i mułowców (Pl. II. fot. 1, 2, 3; zał. nr 1a). Utwory te deponowane były według Pieńkowskiego (2004) w strefie przybrzeża oraz plaży zewnętrznej.

Piaskowce dolnej części profilu, o łącznej miąższości około 6 m, odsłaniają się w ścianach głębszej, południowej części wyrobiska złoża Wolica II, wcinającego się w północne zbocze wzniesienia Diabla Góra. Wykształcone są w postaci nachylonych pod niewielkim kątem, często amalgamowanych ławic (Pl. II. fot. 4). Ich miąższość nie przekracza kilkadziesięciu centymetrów, tylko sporadycznie wzrastając do nawet ponad 2 metrów. Na powierzchniach stropowych spotykane są riplemarki prądowe, o krętych i lekko rozwidlających się grzbietach (Pl. II. fot. 5A), podobne do opisywanych przez Kurowskiego (2002) ze strefy przybrzeża Bałtyku, ponadto występują riplemarki linijne (Pl. II. fot. 5B). Miejscami powierzchnie ławic są nierówne, tworząc kilkunastocentymetrowej wysokości stopnie morfologiczne (Pl. II. fot. 6A, 6B). Są to prawdopodobnie, utworzone przez prądy wzdłużbrzegowe, dna kanałów prądowych, pokryte riplemarkami łańcuchowymi (Pl. II. fot. 6A).

Piaskowce wykazują na przemian laminację poziomą oraz przekątną małej i dużej skali (Pl. II. fot. 7A, 7B). Różne rodzaje struktur depozycyjnych współwystępują często w obrębie pojedynczych ławic, decydując o ich złożonej budowie wewnętrznej. Zestawy lamin przekątnych mają miąższość 15–20 cm, rzadziej powyżej 30 cm. Powierzchnie graniczne zestawów są faliste bądź płaskie. W obrębie ławic często obserwowane są intraklasty białych mułowców, o długości do około 5 cm (Pl. II. fot. 8). Skamieniałości śladowe występują przede wszystkim w piaskowcach o poziomej laminacji. Reprezentowane są przez poziomy jamek mieszkalnych typu *Arenicolites* (por. Pieńkowski 2004, Pl. II. fot. 9), charakterystycznych dla osadów strefy przybrzeżnej (Bann i Fielding 2004), a podrzędnie występujących również w utworach plaży zewnętrznej (Pemberton i in. 2012). W obrębie piaskowcowych

ławic, a także w ich stropie, obserwowane są lokalnie kilkumilimetrowe warstewki o wiśniowym zabarwieniu, z widocznymi strukturami deformacyjnymi, powstałymi prawdopodobnie w efekcie grzęźnięcia osadu o większej gęstości (związki żelaza). Tego rodzaju deformacje rozwijają się również powyżej obserwowanych w osadzie powierzchni rozmycia wewnątrzławicowego (Pl. II. fot. 10A, 10B).

Górną część profilu, dostępną do obserwacji zarówno w głębszej części wyrobiska, odpowiadającej złożu Wolica II, jak też w płyciej położonej części kamieniołomu Wolica III, tworzy pakiet piaskowców cienko- i średnioławicowych z przewarstwieniami skał silikoklastycznych najdrobniejszych frakcji (Pl. II. fot. 1, 3). Rozpoczynają go piaskowce o miąższości ławic do 25 cm, zawierające większe koncentracje związków żelaza w formie smug i warstewek, o wiśniowej i brunatnej barwie oraz szerokości od kilku milimetrów do kilku centymetrów. Podobnie jak w dolnej części profilu, w skałach obserwowane są skamieniałości śladowe pod względem etologicznym zaliczane do kategorii domichnia, czyli jamek mieszkalnych (Pl. II. fot. 11). Struktury depozycyjne są na ogół słabo widoczne. W tej części profilu obserwowane są również deformacje osadu przypominające struktury pograżowe. Miąższość omawianego wydzielenia wynosi około 1,5 m i wraz z nadległym kompleksem piaskowców wyłącznie cienkoławicowych przekracza 4 m. W górę profilu nagromadzenia związków żelaza zanikają. Znaczącej redukcji ulega miąższość ławic (2–7 cm), przy notowanym wzroście miąższości i udziału wkładek ilastych.

Piaskowce formacji ostrowieckiej

Złoża okolic Żarnowa

W złożach okolic Żarnowa, reprezentujących dolną część profilu formacji ostrowieckiej (Pieńkowski 2006; Złonkiewicz 2013), odsłaniają się naprzemianległe sekwencje piaskowców bardzo drobno i drobnoziarnistych o różnych zespołach struktur wewnątrzławicowych i zmiennych udziałach miąższościowych (zał. nr 1b). Oddzielność piaskowców jest na ogół niewyraźna, podkreślona obecnością cienkich wkładek iłowców i mułowców. Skały zalegają niemal poziomo lub pod niewielkim kątem zapadają w kierunku NW, a lokalnie w kierunku NE. Najstarsze kompleksy piaskowcowe dostępne są do obserwacji w kamieniołomach Sielec I, II, IV oraz Żarnów 1, podczas gdy młodsze odsłaniają się w kamieniołomach w pobliższej Treście Wesołej. Dolna część profilu zdominowana jest przez piaskowce średnio- i gruboławicowe. Kontakt tych osadów z nadległą serią piaskowców cienkoławicowych stwierdzony został w kamieniołomie Tresta Wesoła I.

Omawiane osady silikoklastyczne, zaliczane przez Pieńkowskiego (2006) do przybrzeża dolnego i środkowego, a przez Złonkiewicza (2013) do przybrzeża górnego/środkowego i środkowego/dolnego, wykazują cechy sedymentacji cyklicznej, związanej z wielokrotnymi zmianami dynamiki przepływu. W profilach złóż obserwowane jest następstwo osadów typowych dla sedymentacji w środowisku morskim, o różnej intensywności prądów dennych i falowania. Dominują piaskowce o poziomej, miejscami nieciągłej laminacji, stanowiące według Pieńkowskiego (2006) osad akumulowany w warunkach silnych prądów, a zatem

w fazie płaskiego dna w górnym reżimie natężenia przepływu (Gradziński i in. 1986). Lokalnie w ich obrębie obserwowane są powstałe w wyniku migracji riplemarków (Pl. III. fot. 1A, 1B) piaskowce o laminacji przekątnej niskokątowej i warstwowaniu smużystym. Laminacja podkreślona jest zmianą uziarnienia, obecnością smug o ciemnym zabarwieniu lub występujących na płaszczyznach oddzielności blaszek łyszczyków. Na ogół nieznaczną część odsłoniętych profili złożowych stanowią piaskowce bezstrukturalne.

W kamieniołomach Sielec I, Sielec IV, Żarnów 1 oraz Tresta Wesoła I stwierdzono występowanie osadów cykli sztormowych, czyli tzw. tempestytów, z charakterystycznym warstwowaniem przekątnym kopułowym (por. Dott i Bourgeois 1982; Pieńkowski 2004, Pl. III. fot. 2A, 2B). Występowania sztormów dowodzi również obecność ławic o silnie po-falowanej powierzchni stropowej, stwierdzonych w profilach złoża Sielec I, Sielec IV, Żarnów 1 oraz Tresta Wesoła I. Są to tzw. megariplemarki falowe (Pieńkowski 2006; Złonkiewicz 2013, por. Gallagher i in. 1998) o wysokości do około 60 cm i długości kilku metrów (Pl. III. fot. 3A, 3B, 3C, 4, 5). Zagłębienia między ich grzbietami wypełnione są osadem bezstrukturalnym, a następnie laminowanym przekątnie niskokątowo (Pl. III, fot. 6). Na okresowe osłabienie falowania i siły prądów wskazują lokalnie obserwowane bioturbacje osadu, w tym poziomy jamek mieszkalnych (Pl. III. fot. 7).

Wewnątrz ławic piaskowców o laminacji płaskiej, a podrzędnie laminacji przekątnej niskokątowej, widoczne są rozmycia, wypełnione najczęściej materiałem bezstrukturalnym (Pl. III. fot. 8). Mechanizm powstawania tego rodzaju struktur przypisywany jest działaniu silnych prądów dennych bądź falowania (Shrock 1948), prowadzących do erozji skonsolidowanego wcześniej osadu. Pieńkowski (2004) przychylił się do pierwszego z wymienionych czynników, łącząc ich genezę z działaniem prądów rozrywających (tzw. prądów strugowych).

Większe struktury erozyjne reprezentowane są przez kanały erozyjne, o głębokości od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów, wypełnione osadami o charakterze piaskowcowo-łastych heterolitów (Pl. III. fot. 9A, 9B). Tego rodzaju struktury stwierdzono w wyrobiskach złóż Sielec I, II, IV.

Nadległy fragment profilu osadów formacji ostrowieckiej, dostępny do obserwacji w kamieniołomach piaskowców w Treście Wesołej stanowi kontynuację sedymentacji przybrzeżnej, z licznymi poziomami warstwowania kopułowego. Rozpoczynają go grube ławice piaskowców, które lokalnie ulegają amalgamacji, osiągając miąższość dochodzącą nawet do około 2,6 m (Pl. III. fot. 10). Są to na ogół piaskowce bezstrukturalne, z podrzędną płaską i przekątną niskokątową laminacją, obserwowaną w górnych częściach ławic. Na powierzchniach stropowych ławic występują riplemarki półksiężycowate. W skałach zachowały się odciski drewna o długości nieprzekraczającej kilku–kilkunastu cm (Pl. III. fot. 11), obserwowane we wcześniej omawianych kamieniołomach w Sielcu tylko sporadycznie. W obrębie dwóch najniższych ławic stwierdzono dużych rozmiarów soczewki mułowców o długości 30–60 cm (Pl. III. fot. 12). W górę profilu następuje znaczna redukcja miąższości ławic i przejście do osadów średnio-, a następnie cienkoławicowych (Pl. III. fot. 13). Wzrasta udział i miąższość wkładek łaistych, a stropowa powierzchnia ławic jest często łagodnie

pofalowana. W najwyższej części profilu obserwowane są zespoły ławic warstwowych przekątnie (Pl. III. fot. 14).

Złóża okolic Opoczna

Występujące w rejonie Opoczna kompleksy piaskowcowe formacji ostrowieckiej, scharakteryzowane na podstawie danych z otworu wiertniczego Opoczno PIG 2 przez Złonkiewicza (2006), wykazują cechy sedimentacji deltowej, rzecznej, a być może również szelfowej. Piaskowce ze złóż w Kraszkowie i Mroczkowie Gościnnym to skały cienko-, a podrzędnie średnioławicowe o drobnym uziarnieniu, z licznymi hieroglifami organicznymi. Najczęściej wykazują poziomą laminację, rzadziej są to osady warstwowe przekątnie.

Dolną część profilu osadów formacji ostrowieckiej w złożach rejonu Opoczna budują, zalegające powyżej serii czarnych mułowców, silnie spękane żółto-brunatne, laminowane piaskowce, z nagromadzeniami związków żelaza w postaci smug i warstewek oraz uwęgloną substancją organiczną. Skały te odsłaniają się w spągu złoża Kraszków 1, wykazując zróżnicowany stopień zwięzłości – wyższy w dolnej, niższy w górnej partii złoża. Serię złożową kończą słabo zwięzłe, laminowane piaskowce o barwie jasnoszarej z odcieniem żółtym.

Wyższa część profilu obserwowana jest w kamieniołomach w Mroczkowie Gościnnym. Wykształcona jest w postaci cienkoławicowych piaskowców – żółtych w dolnych i jasnoszarych w górnych partiach wyrobiska. Skały wykazują na ogół poziomą laminację, rzadziej są warstwowe przekątnie lub bezstrukturalne. Na powierzchniach stropowych ławic obserwowane są riplemarki (Pl. III. fot. 15). W piaskowcach występujących w dolnej części profilu spotykane są fragmenty drewna o długości większej niż w piaskowcach ze złóż w Żarnowie, dochodzącej nawet do około 30 cm (Pl. III. fot. 16A, 16B), których obecność podkreślona jest lokalnie przez uwęgloną substancję organiczną. Na powierzchniach spągowych piaskowców widoczne są wieloboczne grzbiety, o długości około 2 cm i szerokości 1 cm, oraz mniejsze linijne wałeczki, o długości około 0,5 cm. Są to prawdopodobnie hieroglify organiczne postdepozycyjne (Pl. III. fot. 17A, 17B).

Piaskowce formacji borucickiej

Złóża w Dąbiu

Kompleks piaskowców formacji borucickiej udokumentowany w czasie prowadzonych badań terenowych w złożach Dąbie I, Dąbie II (obecnie w granicach tego złoża udokumentowano złożo Dąbie IV) i Dąbie III, wykazuje wyraźne zróżnicowanie litologiczne w profilu pionowym, związane z odmiennymi warunkami sedimentacji. We wspólnym dla czterech złóż wyrobisku eksploatacyjnym odsłaniają się osady deltowe (Pl. IV. fot. 1), zaliczane do różnych subsystemów depozycyjnych (Pieńkowski 2006).

Spągową część, liczącą około 15 m profilu, budują poziomo zalegające, regularnie uławiczone piaskowce akumulowane w strefie czoła delty (Pieńkowski 2006, Pl. IV. fot. 1, 2, 5, zał. nr 1c). Piaskowce występują w postaci grubych, podrzędnie średniogrubych ławic,

o miąższości zmieniającej się w zakresie od 15 do 150 cm (Pl. IV, fot. 2). Ławice wykazują wyraźną oddzielność związaną z występowaniem kilku–kilkunastu centymetrowych wkładek ilastych (maksymalnie do 20 cm). W piaskowcach obserwowana jest charakterystyczna dla osadów deltowych laminacja przekątna typu riplemarków wstępujących oraz laminacja pozioma. Lokalnie stwierdzono naprzemianległe warstwowanie przekątne soczewkowe i kopułowe wskazujące na akumulację osadów w warunkach oddziaływania zarówno prądów, jak też falowania. W dolnej części wyrobiska na powierzchniach ławic obserwowane są riplemarki (Pl. IV, fot. 4). W odróżnieniu od omawianych wcześniej osadów płytkomorskich brak jest skamieniałości śladowych. Pieńkowski (2006) stwierdza natomiast obecność dobrze zachowanej flory. W zależności od miejsca prowadzonej eksploatacji piaskowce wykazują zróżnicowaną zwięzłość. Omawiany fragment profilu osadów czoła delty ma miąższość około 11 m. Nad nim, w zachodniej i wschodniej części północnej ściany kamieniołomu zalega niezgodnie pakiet nachylonych w przeciwnych kierunkach ławic piaskowców średniej i cienkiej grubości, z wkładkami skał ilastych (Pl. IV, fot. 1, 3). W centralnej części tej ściany zaznacza się natomiast obecność poziomo ułożonych, gruboławicowych piaskowców o nierównej powierzchni spągowej, z soczewkami białego mułowca (Pl. IV, fot. 5). Omawiana część profilu, o miąższości około 4 m, zgodnie z interpretacją Pieńkowskiego (2006) reprezentuje osady kanału rozprowadzającego. Z uwagi na ograniczoną dostępność wyższej części profilu, badania prowadzone w ramach pracy obejmowały wyłącznie piaskowce deponowane w strefie czoła delty.

Złoże w Pilichowicach

Odmienne wykształcenie piaskowców formacji borucickiej obserwowane jest w złożu Pilichowice I (Pl. IV, fot. 6). W profilu płytkiego wyrobiska eksploatacyjnego odsłania się kompleks piaskowców laminowanych poziomo i przekątnie, o miąższości około 3 m. Grubość ławic, w części spągowej między 6 a 20 cm, w górę profilu maleje do 1–10 cm. Na powierzchniach ławic obserwowane są ślady działalności organizmów (Pl. IV, fot. 7).

7.2. Wyróżnione odmiany piaskowców

Piaskowce formacji skłobskiej

W wyrobiskach złóż formacji skłobskiej wydzielono dwie odmiany piaskowców, o zróżnicowanych możliwościach gospodarczego wykorzystania (zał. nr 1a). Pierwsza z nich, oznaczona symbolem Is_{bl} , reprezentowana jest przez piaskowce średnio- i gruboławicowe, przydatne do produkcji bloków, druga (symbol IIs) przez piaskowce średnio- i cienkoławicowe (niebłoczne). Najwyższą część profilów złożowych, o miąższości około 3 m, wyłącza się z pomiarów ze względu na znaczny stopień zwietrzenia i niewielką zwięzłość występujących piaskowców. Charakterystykę wyróżnionych odmian przedstawiono poniżej:

Odmiana Is_{bl} – grubo i średnioławicowe, jasnoszare, jasnożółte i jasnoróżowe (podrzędnie żółte i fioletowe) piaskowce drobnziarniste o laminacji poziomej i przekątnej – osady morskie strefy przybrzeżnej/plaży zewnętrznej (Pieńkowski 2004)

Piaskowce średnio i gruboławicowe **odmiany Is_{bl}** (rys. 7.1, fot. 7.1, zał. nr 1a), wydobywane w dolnej części wyrobiska złoża Wolica II, wykazują znaczną niejednorodność w zakresie barwy oraz rodzaju występujących struktur sedimentacyjnych. Są to skały drobnziarniste, o laminacji poziomej i różnych odmianach laminacji przekątnej, omówionych w podrozdziale 7.1. Barwa piaskowców zmienia się od jasnoszarej, przez jasnożółtą i jasnoróżową, lokalnie po żółtą i fioletową. Często zaznacza się również smugowanie związane z koncentracją minerałów o ciemnym zabarwieniu (rys. 7.1, fot. 7.1). Lokalnie obserwowane są jasne laminy związane z nagromadzeniem materiału drobniejszej frakcji, który wypełnia zagłębienia między riplemarkami (fot. 7.2). Poszczególne ławice wykazują umiarkowaną



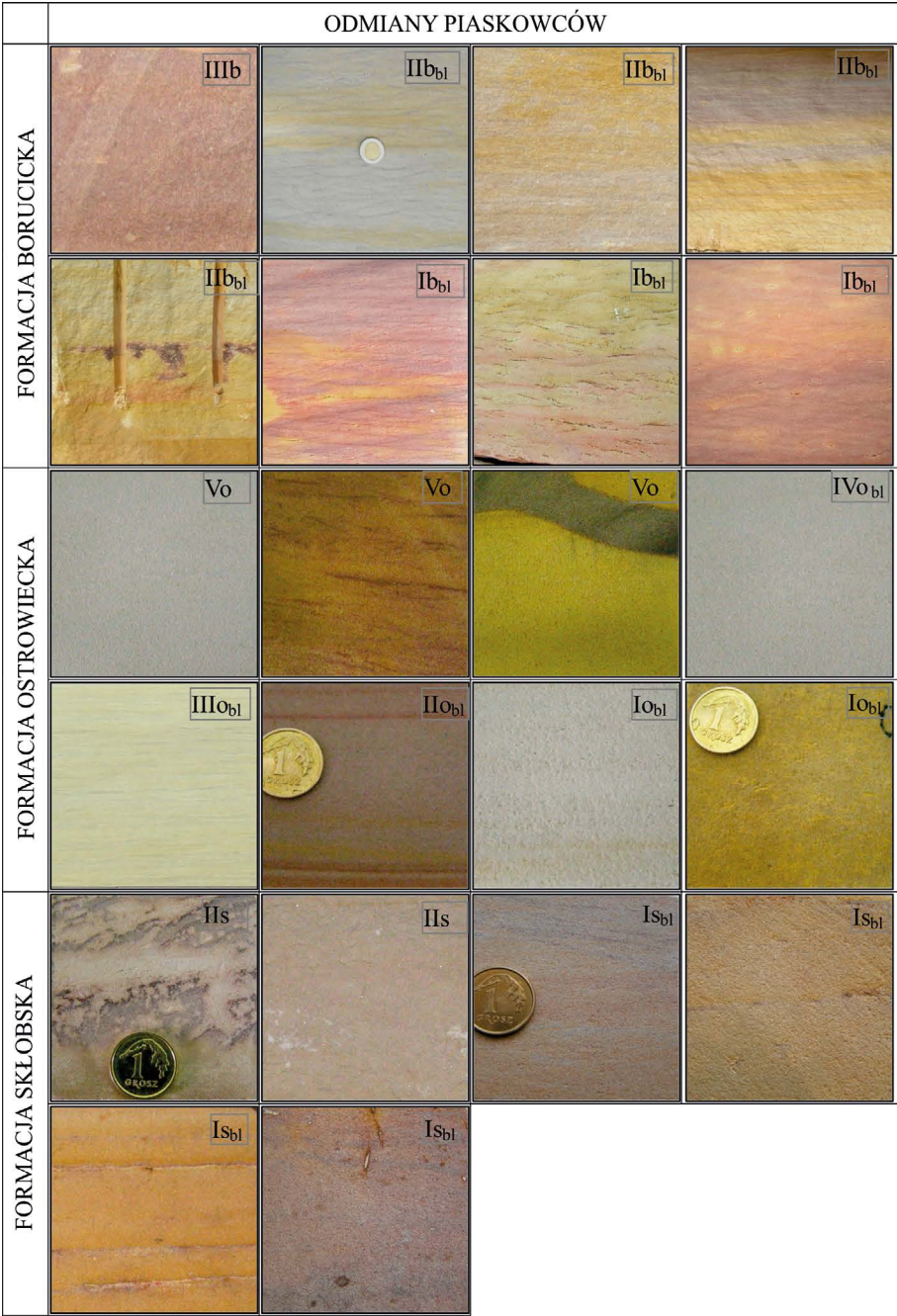
Fot. 7.1. Płyty piaskowca o laminacji przekątnej niskokatowej ze złoża Wolica II (przekrój podłużny do uławicenia) z widocznymi ciemnymi smugami (łuki przyrostowe riplemarków)

Phot. 7.1. Slabs of sandstones from Wolica II deposit with low-angle cross bedding (cross section parallel to the bedding) with a dark streaks accentuated the rip and furrow structures (formed during the migration of ripples)



Fot. 7.2. Płyta piaskowca ze złoża Wolica II w przekroju podłużnym do uławicenia, z widocznymi jasnymi smugami związanymi z koncentracją drobniejszej frakcji w zagłębieniach między riplemarkami

Phot. 7.2. Slabs of sandstones from Wolica II deposit (cross section parallel to the bedding) with the light streaks related to finer grain deposit concentrated in the hollows between the ripples



Rys. 7.1. Odmiany piaskowców jurajskich o różnych właściwościach użytkowych wyróżnione w wyrobiskach analizowanych złóż

Fig. 7.1. Varieties of Jurassic sandstones of various utility features distinguished in the quarries of the analyzed deposits



Fot. 7.3. Odmiany piaskowców wyróżnione w profilu wyrobiska złoża Wolica II

Phot. 7.3. Varieties of sandstones distinguished in the profile of the Wolica II quarry

lub słabą zwięźłość. Udział **odmiany II_{hl}** w łącznej miąższości odsłoniętego w wyrobisku eksploatacyjnym profilu złożowego stanowi około 58,5% (zał. nr 1a, fot. 7.3). Do badań laboratoryjnych pobrano 11 próbek tej odmiany (tab. 7.1).

Odmiana II_s – cienko- i średnioławicowe, na ogół jasnoszare (podrzędnie różowe) piaskowce bardzo drobnoziarniste, bezstrukturalne (słabo widoczna płaska laminacja) – osady morskie strefy przybrzeżnej/plaży zewnętrznej (Pieńkowski 2004)

Odmiana II_s (rys. 7.1, zał. nr 1a) wykształcona jest w postaci cienko-, a podrzędnie średnioławicowych piaskowców występujących w górnej części wyrobiska złoża Wolica II i Wolica III. Są to skały jasnoszare, lokalnie z większymi koncentracjami związków żelaza nadającymi im różowy odcień. Piaskowce wykazują bardzo drobne uziarnienie i na ogół brak widocznej laminacji (podrzędnie laminacja płaska). Zwięźłość piaskowców jest zróżnicowana – większa w piaskowcach z nagromadzeniami związków żelaza, mniejsza w piaskowcach jasnoszarych. Udział **odmiany II_s** w łącznej miąższości odsłoniętego w wyrobisku eksploatacyjnym profilu złożowego stanowi około 14,2% (zał. nr 1a). Do badań laboratoryjnych pobrano trzy próbki piaskowców tej odmiany (tab. 7.1).

Piaskowce formacji ostrowieckiej

W wyrobiskach złóż formacji ostrowieckiej wydzielono pięć odmian piaskowców, o zróżnicowanych możliwościach gospodarczego wykorzystania. Pierwsze cztery reprezentowane są przez piaskowce średnio-, grubo-, a sporadycznie bardzo gruboławicowe, przydatne do produkcji bloków, o zróżnicowaniu wyrażającym się w barwie i rodzaju występujących struktur sedymentacyjnych. Do ostatniej z wymienionych odmian zaliczono natomiast piaskowce średnio- i cienkoławicowe (niebloczne). Charakterystykę wyróżnionych odmian przedstawiono poniżej:

Podstawowe cechy litologiczne i warunki sedimentacji wyróżnionych odmian

Basic lithological features and sedimentary environment of the analyzed varieties

Rodzaj skały	Odmiana	Występowanie/ /złoże	Liczba próbek	Środowisko sedymantacji ¹	Uławicenie ²	Uziarnienie ^{2*}
Piaskowce formacji boruckiej	IIIb	Pilichowice I	1	b.d.**	cienkoławicowe, średnioławicowe	drobnoziarniste
	IIb _{bl}	Dąbie I, Dąbie II, Dąbie III	4	czoło delty średnioławicowe, gruboławicowe	średnioławicowe, gruboławicowe	drobnoziarniste
	Ib _{bl}	Dąbie I, Dąbie II, Dąbie III	8		żółta, czerwona	laminacja przekątna riplemarków wstępujących, warstwowanie kopułowe i soczewkowe
Piaskowce formacji ostrowieckiej	Vo	Kraszków 1, Mroczków Gościnny-2, Mroczków Gościnny-6, Tresta Wesoła I, Tresta Wesoła IV	7	delty/rzeki meandrujące?/ strefa przybrzeżna	cienkoławicowe, średnioławicowe	drobnoziarniste
	IVo _{bl}	Sielec I, Sielec II, Sielec IV, Żarnów 1, Tresta Wesoła I	9	dolne/środkowe przybrzeże	od średnio- do bardzo gruboławicowych	bardzo drobno- i drobnoziarniste
	IIIo _{bl}	Sielec I, Sielec IV, Tresta Wesoła I, Żarnów 1	14		średnioławicowe gruboławicowe, bardzo gruboławicowe (sporadycznie)	bardzo drobnoziarniste
	IIo _{bl}	Sielec IV	3		średnioławicowe gruboławicowe	bardzo drobnoziarniste
	Io _{bl}	Sielec I	2	górze/środkowe przybrzeże	jedna gruba ławica	drobnoziarniste
				strefa przybrzeżna zbiornika brakiczo-morskiego		
Piaskowce formacji skłobskiej	II _s	Wolica II, Wolica III	3	górze przybrzeże/plaża zewnątrzna średnioławicowe, gruboławicowe	cienkoławicowe, średnioławicowe	bardzo drobnoziarniste
	Is _{bl}	Wolica II	11		jasnoszare, jasnożółte, jasnoróżowe, żółte, fioletowe	laminacja pozioma i przekątna

Objaśnienia: ¹ na podstawie: Pieńkowski 2004, 2006, Złonkiewicz 2006, 2013, ² obserwacje własne.

? – określenie środowiska sedimentacji niejednoznaczne; b.d. – brak danych.

Tabela 7.1

piaskowców jury NW obrzeżenia Gór Świętokrzyskich

Table 7.1

of Jurassic sandstones of the NW margin of the Świętokrzyskie Mountains

Barwa ²	Struktury sedimentacyjne ²	Zwięźłość ²	Pozostałe cechy ²
jasnoszara, żółta, różowa, czerwona	bezstrukturalne, laminacja przekątna	zwięzłe	skamieniałości śladowe, prawdopodobnie ośrodka fauny
jasnoszara, jasnożółta, różowa	laminacja pozioma, laminacja przekątna małej skali	zwięzłe	pierścienie Lieseganga
drobnoziarniste	słabo zwięzłe	koncentracje związków żelaza	–
jasnoszara, jasnożółta, brunatnożółta, czerwona	laminacja pozioma, przekątna, bezstrukturalne	słabo i umiarkowanie zwięzłe	riplemarki, biohieroglify, odciski drewna, substancja organiczna, koncentracje związków żelaza w formie „żyłek” i smug
jasnoszara	bezstrukturalne (lokalnie słabo wyraźna laminacja)	zwięzłe, rozsypliwe (złożę Sielec IV)	amalgamacja ławic, megaripelemarki, konkretacje
jasnoszara jasnożółta	laminacja pozioma, laminacja przekątna niskokątowa i kopułowa, warstwowanie smużyste	zwięzłe, słabo zwięzłe	amalgamacja ławic, megaripelemarki, riplemarki, hieroglify prądowe, kanały erozyjne, rozmycia wewnętrznlawicowe, odciski drewna, konkretacje żelaziste i piaszczyste, sporadycznie bioturbacje osadu
wielobarwne	laminacja pozioma, podrzędnie warstwowanie kopułowe	zwięzłe, słabo zwięzłe	–
jasnoszara jasnożółta	bezstrukturalne (lokalnie słabo widoczna laminacja)	zwięzłe	głębokie kanały erozyjne na powierzchni ławicy
jasnoszare, różowe	laminacja pozioma, bezstrukturalne	zwięzłe, w górę profilu przechodzą w słabo zwięzłe, rozsypliwe	skamieniałości śladowe, koncentracje związków żelaza, prawdopodobnie ślady grzęźnięcia osadu
drobnoziarniste	słabo i umiarkowanie zwięzłe	amalgamacja ławic, lokalnie nierówna powierzchnia ławic, riplemarki, intaklasty ilaste, skamieniałości śladowe (jamki mieszkalne)	–

* Klasyfikacja miąższości ławic według Peszata (1997).

** Obserwacje terenowe wskazują na środowisko płytkomorskie lub deltowe.

Odmiana Io_{bl} – bardzo grubolawicowe, jasnoszare i jasnożółte piaskowce drobnoziarniste o teksturze bezładnej i niewyraźnej laminacji – według Złonkiewicza (2013) osady kanału rozrywającego lub międzybarierowego (górne/środkowe przybrzeże)

Piaskowce **odmiany Io_{bl}** (rys. 7.1, zał. nr 1b) rozpoczynają profil osadów formacji ostrowieckiej w rejonie Żarnowa. Tworzą jedną ławicę o zmiennej miąższości, dochodzącej maksymalnie do około 3 m, z zagłębieniami erozyjnymi na powierzchni stropowej, sięgającymi kilkudziesięciu centymetrów (fot. 7.4). Są to piaskowce jasnoszare i jasnożółte o znacznej zwięzłości. Charakteryzują się bezładną teksturą i słabo zaznaczającą się poziomą laminacją. Osady te wykazują nieco grubsze uziarnienie niż nadległy kompleks piaskowców bardzo drobnoziarnistych. Omawiana odmiana występuje wyłącznie w północno-wschodniej części kamieniołomu Sielec I (fot. 7.5), stanowiąc około 11% łącznej miąższości odsłoniętego



Fot. 7.4. Powierzchnia stropowa ławicy piaskowców **odmiany Io_{bl}** z zagłębieniami erozyjnymi (do około 70 cm)

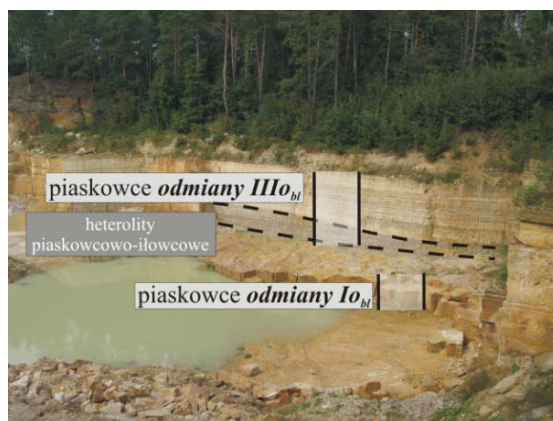
Phot. 7.4. Uneven top surface of sandstones' bed of **variety Io_{bl}** with the erosion hollows (depth up to ca. 70 cm)



Fot. 7.5. Ławica piaskowców **odmiany Io_{bl}** u podstawy ściany kamieniołomu Sielec I

Phot. 7.5. Sandstones' bed of **variety Io_{bl}** at the base of the wall of the Sielec I quarry

w wyrobisku profilu złożowego. Z dolnej i z górnej części ławicy pobrane zostały dwie próbki do badań laboratoryjnych (tab. 7.1). Powyżej piaskowców odmiany Io_{bl} zalega pakiet heterolitów piaskowcowo-mułowcowych, o łącznej miąższości do 2,6 m, wyklinowujący się we wschodniej części wyrobiska (fot. 7.6). Skały te nie wykazują przydatności gospodarczej.



Fot. 7.6. Heterolity piaskowcowo-iłowcowe, rozdzielające piaskowce odmiany Io_{bl} i $IIIo_{bl}$, w kamieniołomie Sielec I

Phot. 7.6. The sandstone/claystone heteroliths, that overlie the sandstones bed of variety Io_{bl} and underlay the sandstones' beds of variety $IIIo_{bl}$, in the Sielec I quarry

Odmiana IIo_{bl} – średnio- i gruboławicowe, wielobarwne piaskowce bardzo drobnoziarniste o płaskiej laminacji – tzw. piaskowiec dębowy (według Pięnkowskiego 2006 osady głębokiego przybrzeża, a według Złonkiewicza 2013 osady środkowego/dolnego przybrzeża)

Odmiana IIo_{bl} (rys. 7.1, fot. 7.7 tab. 7.1), zwana przez kamieniarzy „piaskowcem dębowym”, wydobywana jest w najniższej położonej, południowej części wyrobiska Sielec IV. Piaskowce występują w postaci trzech ławic, o równej powierzchni stropowej i miąższości od 30 do 70 cm, przedzielonych kilkucentymetrowymi warstwami czerwonych i żółtych iłów. Od skał odmiany Io_{bl} odróżniają się bardzo drobnym uziarnieniem oraz płaską laminacją, podkreśloną zmianą barwy od jasnoszarej przez żółtą, czerwoną, aż po fioletową (rys. 7.1). W stropie jednej z ławic występuje warstwowanie przekątne kopułowe. Piaskowce wykazują mniejszą zwięzłość od omawianej wcześniej odmiany Io . Udział odmiany IIo w łącznej długości profilu kamieniołomu Sielec IV sięga 20%. Do badań laboratoryjnych pobrano trzy próbki (tab. 7.1).

Odmiana $IIIo_{bl}$ – średnio- i gruboławicowe, jasnoszare i jasnożółte piaskowce bardzo drobnoziarniste o teksturze kierunkowej (środowisko sedymentacji j.w.)

Największe rozprzestrzenienie spośród wydzielonych odmian piaskowców formacji ostrowieckiej wykazują jasnoszare i jasnożółte, bardzo drobnoziarniste piaskowce o tek-



Fot. 7.7. Wielobarwne, laminowane piaskowce **odmiany II_{obI}**, określane mianem „piaskowiec dębowy”, wydobywane w południowej części kamieniołomu Sielec IV

Phot. 7.7. Multicolored, laminated sandstones of **variety II_{obI}**, termed as “oak sandstones”, extracted in the southern part of the Sielec IV quarry

sturze kierunkowej **odmiany III_{obI}** (rys. 7.1, fot. 7.8A, 7B, tab. 7.1, zał. nr 1b). Występują w kamieniołomach Sielec I, Sielec IV, Tresta Wesoła I oraz Żarnów 1, w ostatnim z wymienionych stanowiąc niemal całość odsłoniętej w wyrobisku serii złożowej. Skały wykazują na przemian słabo wyraźną poziomą laminację (rys. 7.1), z pakietami piaskowców laminowanych przekątnie niskokątowo (fot. 7.8B) i kopułowo. Lokalnie zestawy lamin przekątnych oddzielone są cienkimi wkładkami minerałów ilastych, tworząc warstwowanie smużyste. Warstwowanie podkreślone jest zmianą wielkości ziarna, występowaniem lamin wzbogaconych w blaszki muskowitu, a także obecnością nieregularnych smug o ciemnym bądź żółtym zabarwieniu. Nagromadzenie materiału o odmiennej kolorystyce uwydatnia łuki przyrostowe riplemarków (fot. 7.8A).



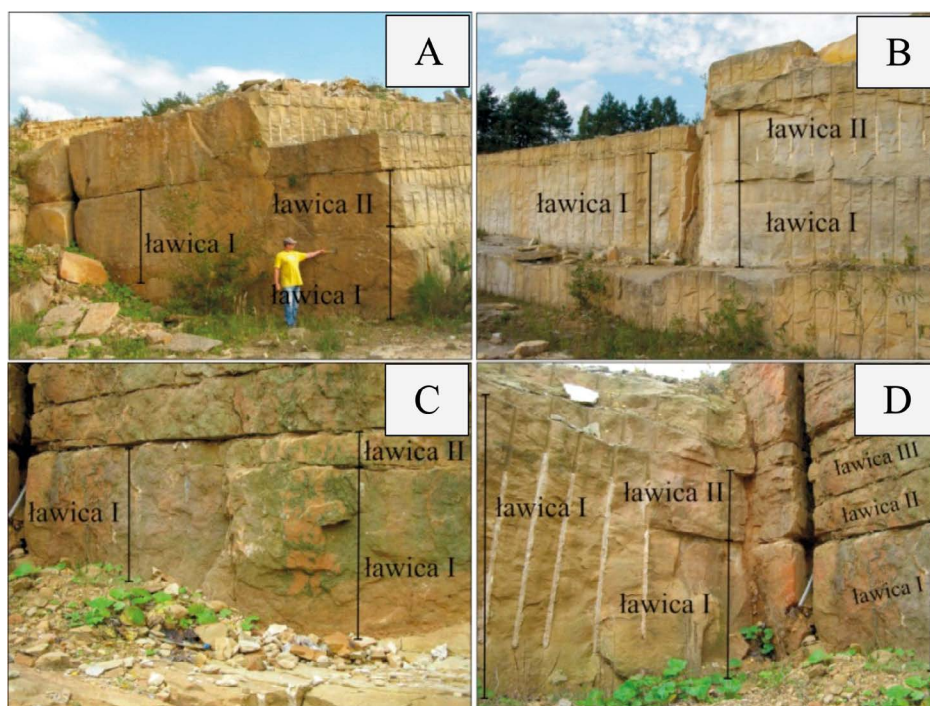
Fot. 7.8. Piaskowce **odmiany III_{obI}** o laminacji przekątnej niskokątowej

A – przekrój podłużny ławicy (widoczne łuki przyrostowe riplemarków); B – przekrój poprzeczny ławicy

Phot. 7.8. Low-angle cross laminated sandstones of **variety III_{obI}**

A – cross section parallel to bedding (dark streaks accentuated rip and furrow structures, formed during the migration of ripples); B – cross section perpendicular to the bedding

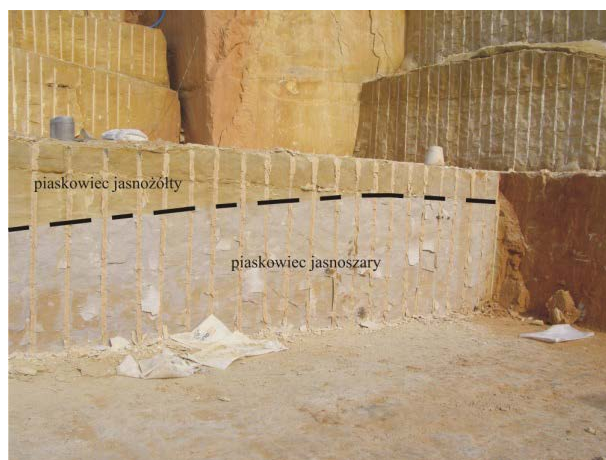
Dominują piaskowce średnio- i gruboławicowe, o miąższości ławic na ogół poniżej 2 m. Na ich powierzchniach stropowych obserwowane są różnego rodzaju riplemarki, a w kamieniołomach Sielec I, Sielec II, Żarnów 1 oraz Tresta Wesoła I stwierdzono poziomy mega-riplemarków. Z kolei na dolnych powierzchniach piaskowca lokalnie zachowały się hieroglify prądowe. Ławice wykazują znaczną lateralną zmienność miąższości, lokalnie ulegając rozczłonkowaniu bądź amalgamacji (fot. 7.9).



Fot. 7.9. Amalgamacja ławic piaskowców: A i B – kamieniołom Żarnów 1; C i D – kamieniołom Tresta Wesoła I

Phot. 7.9. Amalgamated beds of sandstones: A i B – the Żarnów 1 quarry; C and D – the Tresta Wesoła I quarry

Piaskowce jasnoszare występują w wyrobiskach złóż Sielec I, Sielec IV, Żarnów 1 oraz Tresta Wesoła I, natomiast jasnożółte stanowią znaczącą część profilu kamieniołomu Żarnów 1, budują ponadto pojedyncze ławice w kamieniołomie Sielec I, Sielec IV oraz Tresta Wesoła I. Kolorystyka piaskowców zmienia się często nawet w obrębie tej samej ławicy (fot. 7.10). Największe zróżnicowanie barwne obserwowane jest w profilu kamieniołomu Żarnów 1, w którym wzdłuż tnących skały pionowych spękań (wypełnionych żółtą gliną i rozwartych na szerokość do około 10 cm), a także od powierzchni stropu i spągu ławic, rozwinęły się procesy wietrzenia. W tym przypadku piaskowce jasnoszare występują głównie w centralnej części ławic, podczas gdy w strefach brzeżnych następuje przejście do barwy jasnożółtej (fot. 7.11).



Fot. 7.10. Zmiana zabarwienia piaskowców w obrębie najniższej ławicy w kamieniołom Żarnów 1

Phot. 7.10. Differences in the colors of sandstones observed within the lowest bed in the Żarnów 1 quarry



Fot 7.11. Zmienność barw piaskowców związana z procesami wietrzenia w kamieniołomie Żarnów 1

Phot 7.11. Differences in the color of sandstones related to weathering processes in the Żarnów 1 quarry

W skałach sporadycznie obserwowane są niewielkich rozmiarów odciski drewna. Skamieniałości śladowe, reprezentowane głównie przez jamki mieszkalne, rzadko tworzą większe nagromadzenia. W pojedynczych ławicach w dolnej części kamieniołomu Sielec I oraz Sielec II stwierdzono występowanie kongrecji piaszczystych (fot. 7.12), a w kamieniołomie Sielec I oraz Żarnów 1 kongrecji żelazistych.

Z uwagi na największe rozprzestrzenienie omawiana odmiana piaskowców reprezentowana jest przez 14 próbek (tab. 7.1).



Fot. 7.12. Konkrecje piaszczyste w kamieniołomie Sielec I

Phot. 7.12. Sandy concretions in the Sielec I quarry

Odmiana IV_{obl} – średnio- do bardzo gruboławicowych, jasnoszare i jasnożółte (sporadycznie) piaskowce drobnoziarniste, bezstrukturalne (środowisko sedymentacji j.w.)

Piaskowce średnio- do bardzo gruboławicowych (sporadycznie), bezstrukturalne (rys. 7.1) są odmianą o podrzędnym udziale w poszczególnych profilach złożowych. Rzadko tworzą samodzielne ławice, najczęściej współwystępując z piaskowcami omówionej wyżej odmiany III_{obl}. Występowanie tych skał stwierdzono w kamieniołomie Sielec I, Sielec II, Sielec IV, Żarnów 1 oraz w niedawno odsłoniętej, najniższej części kamieniołomu Tresta Wesoła I. Jednolita, jasnoszara, bądź (rzadziej) jasnożółta barwa, bezładna tekstura i słabo wyraźna laminacja oraz brak ciemniejszych smug podkreślających zestawy niskokątowych warstwowań przekątnych (obserwowanych w odmianie III_{obl}) powoduje, iż skały te stanowią pożądany materiał kamieniarski. Z tego względu wydzielone zostały jako odrębna odmiana litologiczna. Są to najczęściej piaskowce drobnoziarniste. Do badań laboratoryjnych pobrano dziewięć próbek (tab. 7.1).

Odmiana Vo – cienko- i średnioławicowe jasnoszare, jasnożółte, brunatnożółte i czerwone piaskowce drobnoziarniste o laminacji płaskiej, przekątnej oraz bezstrukturalne (osady strefy przybrzeżnej oraz prawdopodobnie deltowe lub rzek meandrujących?)

Do odmiany Vo (rys. 7.1) zaliczono piaskowce cienko-, a podrzędnie średnioławicowe, tworzące zwarty kompleks w złożach Tresta Wesoła I, -IV, Kraszków-1 oraz Mroczków Gościnnny-2 i -6. Piaskowce omawianej odmiany wykazują na ogół drobne uziarnienie oraz poziomą, rzadziej przekątną laminację lub brak widocznych struktur wewnętrznych. Barwa skał wykazuje znaczne zróżnicowanie, od jasnoszarej i jasnożółtej, przez brunatnożółtą do czerwonej. W piaskowcach ze złoża Kraszków-1 obserwowane są liczne smugi i „żyłki” związane z nagromadzeniem związków żelaza. Skały wykazują zróżnicowaną zwięzłość – najmniejszą w kamieniołomie Kraszków-1, większą w wyrobiskach złóż w Mroczkowie

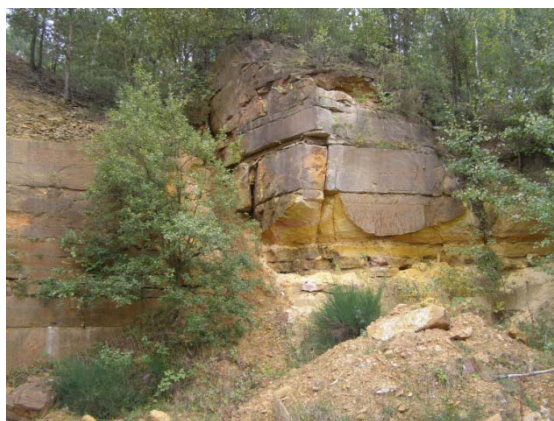
Gościnnym-2, -6 oraz Tresta Wesoła IV. Omawiana odmiana piaskowców reprezentowana jest przez siedem próbek (tab. 7.1).

Piaskowce formacji borucickiej

W wyrobiskach złóż formacji borucickiej wydzielono trzy odmiany piaskowców, w tym dwie grubo i średnioławicowe o zróżnicowanej zwięzłości, w złożach Dąbie I, Dąbie II, Dąbie III, oraz średnio i cienkoławicową w złożu Pilichowice I. Charakterystyka tych odmian przedstawia się następująco:

Odmiana Ib_{bI} – średnio- i gruboławicowe, żółte i czerwone piaskowce drobnoziarniste, z przekątną laminacją typu riplemarków wstępujących (podrzednie warstwowaniem przekątnym kopułowym i soczewkowym), słabozwięzłe – według Pieńkowskiego (2006) osady czola delty

Piaskowce odmiany Ib_{bI} (rys. 7.1, zał. nr 1c) to skały barwy żółtej i czerwonej, słabo zwięzłe, miejscami rozsypliwe (fot. 7.13). Charakteryzują się drobnym uziarnieniem oraz przekątną laminacją typu riplemarków wstępujących, z podrzedną laminacją kopułową oraz warstwowaniem soczewkowym. Na płaszczyznach laminacji pojawiają się nagromadzenia muskowitu, o wielkości blaszek do około 2 mm, oraz substancja ilasta. Granice poszczególnych zestawów, a niekiedy również pojedynczych lamin zaznaczają się lokalnie w postaci makroskopowo widocznych pustek, o długości od kilku mm do kilku cm i zmiennym udziale w poszczególnych ławicach. Wzdłuż tnących skałę płaszczyzn spękań, a miejscami także w stropie lub spągu ławic, obserwowane są koncentracje związków żelaza, w postaci naszkorupień i warstewek, o grubości na ogół poniżej 10 cm. Piaskowce tej odmiany występują w profilu złoża Dąbie I, -II i -III. Do badań laboratoryjnych pobrano osiem próbek (tab. 7.1).

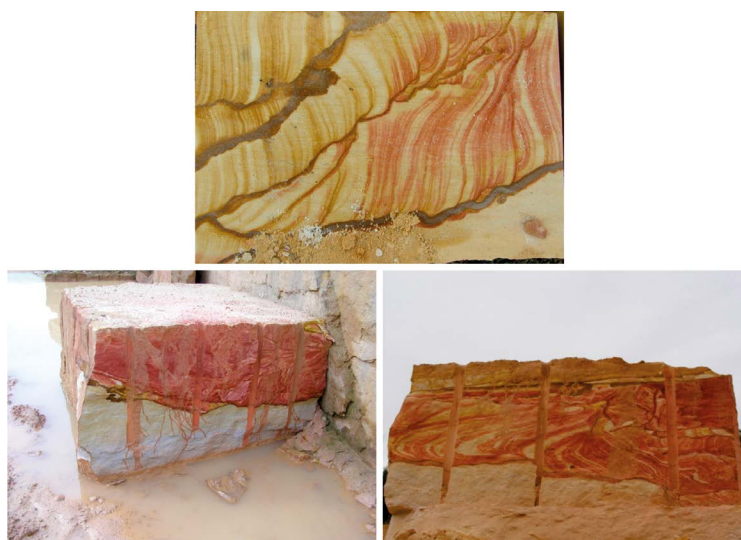


Fot. 7.13. Ławice żółtych, rozsypliwych piaskowców odmiany Ib_{bI} we wschodniej ścianie wyrobiska złoża Dąbie I

Phot. 7.13. Beds of yellow, weakly cohesive sandstones of variety Ib_{bI} in the eastern wall of the Dąbie I quarry

Odmiana IIb_{bl} – średnio- i grubolawicowe, jasnoszare, jasnożółte i różowe piaskowce drobnoziarniste, o laminacji poziomej i różnych rodzajach laminacji przekątnej małej skali – według Pieńkowskiego (2006) osady czoła delty

Piaskowce odmiany IIb_{bl} (rys. 7.1, zał. nr 1c), to skały o jasnoszarej, jasnożółtej i jaśniejszej barwie, lokalnie silnie zabarwione związkami żelaza na kolor ceglastoczerwony, fioletowy i brunatny. W wielu miejscach widoczne są różnobarwne, koncentryczne warstwy i smugi, związane z wtórną koncentracją związków żelaza, tzw. pierścienie Lieseganga (fot. 7.14). Podobnie jak w piaskowcach odmiany Ib_{bl} często obserwowana jest mineralizacja żelazista w postaci naskorupień i warstewek o zmiennej grubości (od kilku mm do kilku cm). Skały te są na ogół dość silnie zlitfikowane. Piaskowce wykazują laminację poziomą i różne rodzaje laminacji przekątnej małej skali. Tylko podrzędnie w obrębie ławic obserwowane są zróżnicowanej wielkości pustki, na ogół liczne w skałach odmiany Ib_{bl}. Sporadycznie warstwowanie podkreślone jest lokalnie obecnością ciemnoszarych, cienkich smug. Piaskowce odmiany IIb_{bl} występują w profilu złoża Dąbie I, -II, -III. Do badań laboratoryjnych pobrano cztery próbki (tab. 7.1).



Fot. 7.14. Wtórne koncentracje związków żelaza w piaskowcach odmiany IIb_{bl}

Phot. 7.14. Concentrations of iron compounds in sandstones of variety IIb_{bl}

Odmiana IIIb – cienko- i średniolawicowe, zróżnicowane barwnie (jasnoszare, żółte, różowe i czerwone) piaskowce drobnoziarniste, bezstrukturalne lub laminowane przekątnie – nieustalone środowisko sedimentacji, zapewne płytkomorskie lub deltowe

Piaskowce odmiany IIIb (rys. 7.1) wyróżnione zostały w wyrobisku złoża Pilichowice I. Są to drobnoziarniste skały występujące w postaci ławic o miąższości na ogół nie przekraczającej 20 cm. Wykazują zróżnicowaną barwę (jasnoszare, żółte, różowe i czerwone),

przekątną laminację lub brak widocznych struktur wewnętrznych. Do badań laboratoryjnych pobrano jedną próbkę tej odmiany.

7.3. Charakterystyka petrograficzna

Piaskowce jurajskie z analizowanych złóż wykazują dużą różnorodność w zakresie wykształcenia petrograficznego, zarówno w odniesieniu do różnowiekowych kompleksów litologicznych, jak też wydzielonych w ich obrębie odmian. Uziarnienie analizowanych skał zgodnie z podziałem Pettijohna i in. (1972), zmodyfikowanym przez Muszyńskiego (2008), zmienia się w zakresie od gruboziarnistych pyłowców po drobnoziarniste piaskowce, a średnia średnica ziaren (GSS) przyjmuje wartości z przedziału od 2,52 do 4,18 ϕ (tab. 7.2 i 7.3). Wysortowanie materiału klastycznego, wyrażone wartością graficznego odchylenia standardowego GSO, waha się od 0,42 do 0,74 ϕ (tab. 7.2). Na podstawie klasyfikacji stopnia wysortowania według Folka i Warda (1957) analizowane skały zaliczono do średnio i dobrze wysortowanych. Rozkład uziarnienia, zgodnie z podziałem zaproponowanym przez wymienionych autorów (Folk i Ward 1957), jest symetryczny oraz skośny i silnie skośny ku drobnym frakcjom (pozytywnie i bardzo pozytywnie skośny), a tylko sporadycznie skośny ku grubszy frakcjom. Wartość graficznej skośności (GSK) kształtuje się na poziomie od 0,17 do 0,47 (tab. 7.2 i 7.3).

Piaskowce charakteryzują się teksturą kierunkową, rzadziej bezładnym ułożeniem ziarna. Laminacja podkreślona jest obecnością łyszczyków, minerałów ilastych, minerałów ciężkich oraz związków żelaza. Wielkość składników ziarnowych waha się od 0,031 do 0,385 mm (tab. 7.4), co zgodnie z podziałem Pettijohna i in. (1972) z późniejszymi modyfikacjami odpowiada ziarnom o frakcji od gruboziarnistego pyłu po średnioziarnisty piasek. Stopień obtoczenia składników detrytycznych określony na podstawie wzorca zaproponowanego przez Powersa (1953) zmienia się na ogół od ziaren półostrokrawędzistych do półobtoczonych. Kontakty międzyziarnowe są punktowe, proste oraz wklęsło-wypukłe. W zależności od wyróżnionej odmiany piaskowców obserwowana jest zmiana stopnia upakowania szkieletu ziarnowego oraz przeważającego ilościowo w skale rodzaju kontaktów.

W składzie materiału detrytycznego analizowanych piaskowców dominuje kwarc, którego udział waha się od 64,0 do 92,1% obj. (tab. 7.5, 7.6). W podrzędnych ilościach szkielet ziarnowy budują okruchy skał (0,3–4,6% obj.), skalenie (do 4,3% obj.), łyszczyki (do 6,8% obj.) i minerały ciężkie (do 2,8% obj.). Spoiwo piaskowców stanowi mieszanina krzemionki, związków żelaza oraz minerałów ilastych, lokalnie z domieszką materiału okruchowego. Zarówno proporcje ilościowe tych składników, jak też ich łączny udział w skale wykazują znaczne zróżnicowanie. Spoiwo ma najczęściej charakter kontaktowy i kontaktowo-porowy, a jego sumaryczna ilość w omawianych piaskowcach zawiera się w przedziale od zaledwie 4,2 do 26,4% obj. (tab. 7.5, 7.6). Pod względem genetycznym zdecydowanie dominuje spoiwo typu cement, przy mniejszym udziale spoiwa typu matrix. Pierwsze z nich tworzą głównie regeneracyjne obwódki krzemionkowe na ziarnach kwarcu, a także występujące

w przestrzeniach międzyziarnowych: mikrokryształiczna krzemionka i autigeniczne minerały ilaste, reprezentowane przez kaolinit. Sporadycznie spoiwo krzemionkowe zbudowane jest z chalcedonu. Lokalnie w znacznych ilościach stwierdzono cement żelazisty, który w zależności od udziału oraz formy występowania nadaje piaskowcom zróżnicowane zabarwienie. Spoiwo typu matrix tworzą nagromadzenia śladników okruchowych (ziaren kwarcu, łuszczyków, minerałów ilastych) o średnicy poniżej 0,031 mm.

Badane piaskowce według klasyfikacji Pettijohna i in. (1972) należą do arenitów kwarcowych, a podrzędnie arenitów sublitycznych.

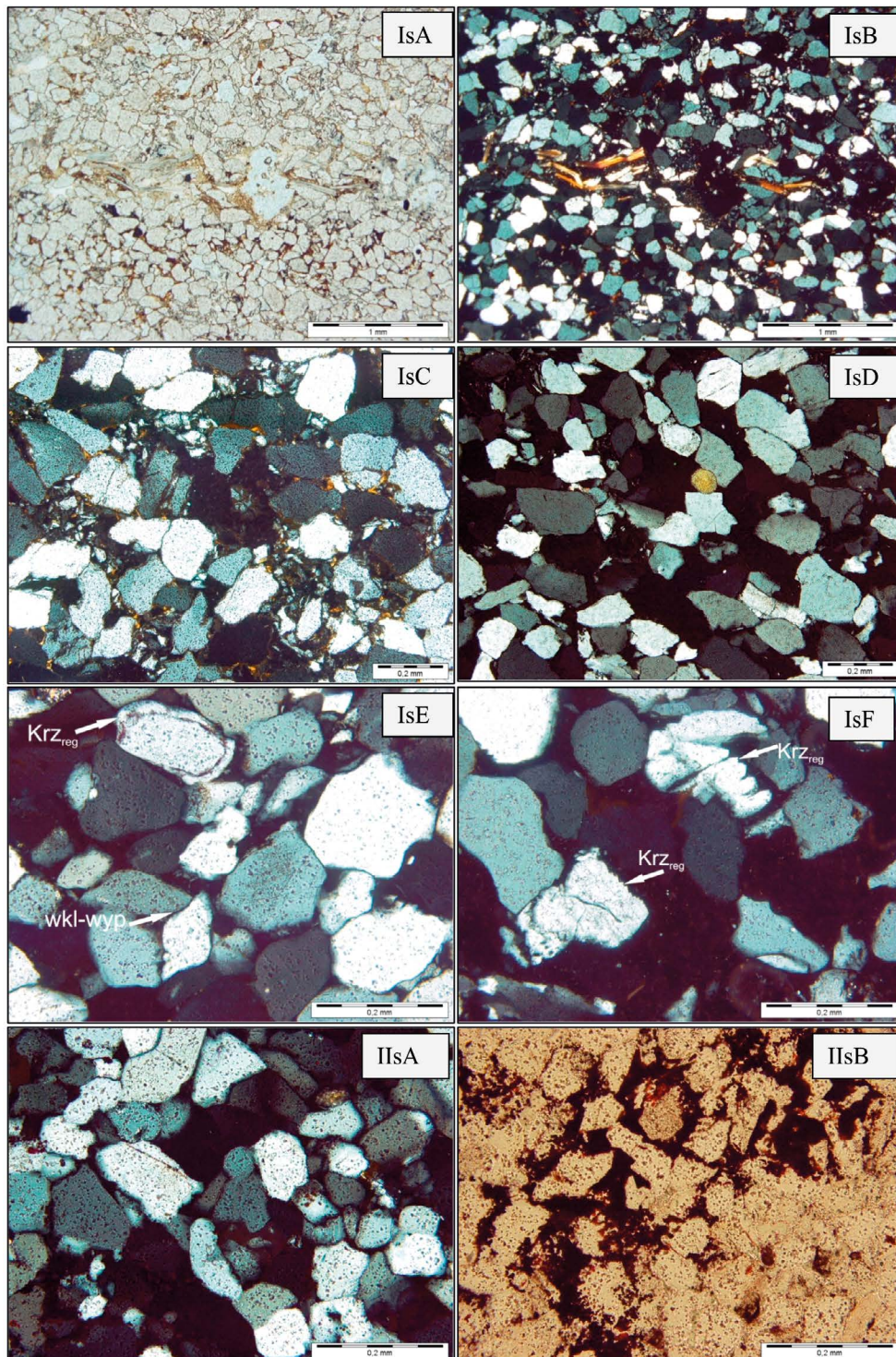
Piaskowce formacji skłobskiej

Piaskowce formacji skłobskiej z analizowanych złóż Wolica II i Wolica III reprezentowane są przez dwie odmiany wykazujące zróżnicowanie w zakresie uziarnienia, wysortowania oraz udziału składników ziarnowych i spoiwa (tab. 7.3, 7.6, fot. 7.15).

Piaskowce **odmiany Is_{bl}** to skały o strukturze drobnoziarnistej i średniej średnicy ziarna (GSS) od 2,52 do 2,98 Ø (tab. 7.3). Oznaczone dla nich wartości GSO zmieniają się w zakresie 0,48–0,58 Ø, wskazując na dobre i średnie wysortowanie składników, a rozkłady uziarnienia są prawie symetryczne i skośne ku drobnym frakcjom (GSK: 0,05–0,34). Piaskowce **odmiany IIs** zaliczone zostały natomiast do skał bardzo drobnoziarnistych (GSS: 3,66 Ø), średnio wysortowanych (GSO: 0,51 Ø) z rozkładem uziarnienia skośnym ku drobnym frakcjom (GSK: 0,13; tab. 7.3).

Piaskowce **odmiany Is_{bl}** charakteryzują się teksturą kierunkową, podkreśloną równoległym ułożeniem dłuższych osi składników ziarnowych (fot. 7.15 IsA, B, D), obecnością łuszczyków (fot. 7.15 IsA, B), większych koncentracji związków żelaza (fot. 7.15 IsA, B, C), a podrzędnie również spoiwa typu matrix (fot. 7.15 IsC). W skałach **odmiany IIs** laminacja zaznacza się słabiej, bądź składniki nie wykazują wyraźnego uporządkowania. Wielkość ziaren detrytycznych waha się od 0,033 do 0,330 mm (gruboziarnisty pył – średnioziarnisty piasek) dla piaskowców **odmiany Is_{bl}** i od 0,031 do 0,165 mm (gruboziarnisty pył – drobnoziarnisty piasek) dla próbek piaskowca **odmiany IIs** (tab. 7.4). Dominują ziarna półostrokrawędziste i półobtoczone. Upakowanie materiału okruchowego jest na ogół ściślejsze w piaskowcach **odmiany IIs** (fot. 7.15 IIsA), a słabsze w skałach **odmiany Is_{bl}** (fot. 7.15 IsA-D). W skałach odmiany **Is** kontakty są głównie punktowe i proste, rzadziej wklęsło-wypukłe (fot. 7.15 IsE). W **odmianie IIs** udział kontaktów prostych przewyższa udział kontaktów punktowych, częstsze są również kontakty wklęsło-wypukłe.

W składzie ziarnowym piaskowców zdecydowanie przeważa kwarc, który w skałach **odmiany Is_{bl}** (fot. 7.15 IsA-F) stanowi od 78,8 do 89,6% obj. (tab. 7.6). Suma pozostałych składników detrytycznych, reprezentowanych przez litoklasty (0,7–2,5% obj.), skalenie (do 1,1% obj.), łuszczyki (0,3–1,8% obj.) oraz minerały ciężkie (od 0,7 do 1,4% obj.) sięga od 2,8 do 5,5% obj. W pojedynczych preparatach stwierdzono ponadto substancję organiczną (do 0,8% obj.) oraz ziarno glaukonitu (fot. 7.15 IsD). W próbce piaskowców **odmiany IIs** udział kwarcu jest mniejszy (66,0% obj.) w stosunku do zakresu wartości notowanego dla **odmiany Is_{bl}**, a następne w kolejności łuszczyki (4,9% obj.), litoklasty (1,9% obj.), minera-



ły ciężkie (1,1% obj.) i skalenie (0,5% obj.) stanowią łącznie 8,4% obj. Stwierdzono również obecność substancji organicznej, występującej w ilości 0,5% obj. (fot. 7.16 IIsA, B).

Główny składnik piaskowców – kwarc, występuje w postaci ziaren monokrystalicznych, o prostym, rzadziej falistym wygaszaniu światła, a tylko podrzędnie jako osobniki polikrystaliczne. Spośród okruchów skał stwierdzono głównie litoklasty krzemionkowe. Łyszczyki, reprezentowane zarówno przez muskowit, jak też biotyt, są lekko zdeformowane i powyginane (fot. 7.15 IsA, B). Błazki biotyту są przeobrażone, na ogół z zaznaczającymi się przejawami procesu chlorytacji, bądź odbarwione, wykazując barwy interferencyjne właściwe dla hydromiki. Z minerałów ciężkich zidentyfikowano rutyl, cyrkon, baryt oraz występujące w przeważającej ilości minerały nieprzezroczyste.

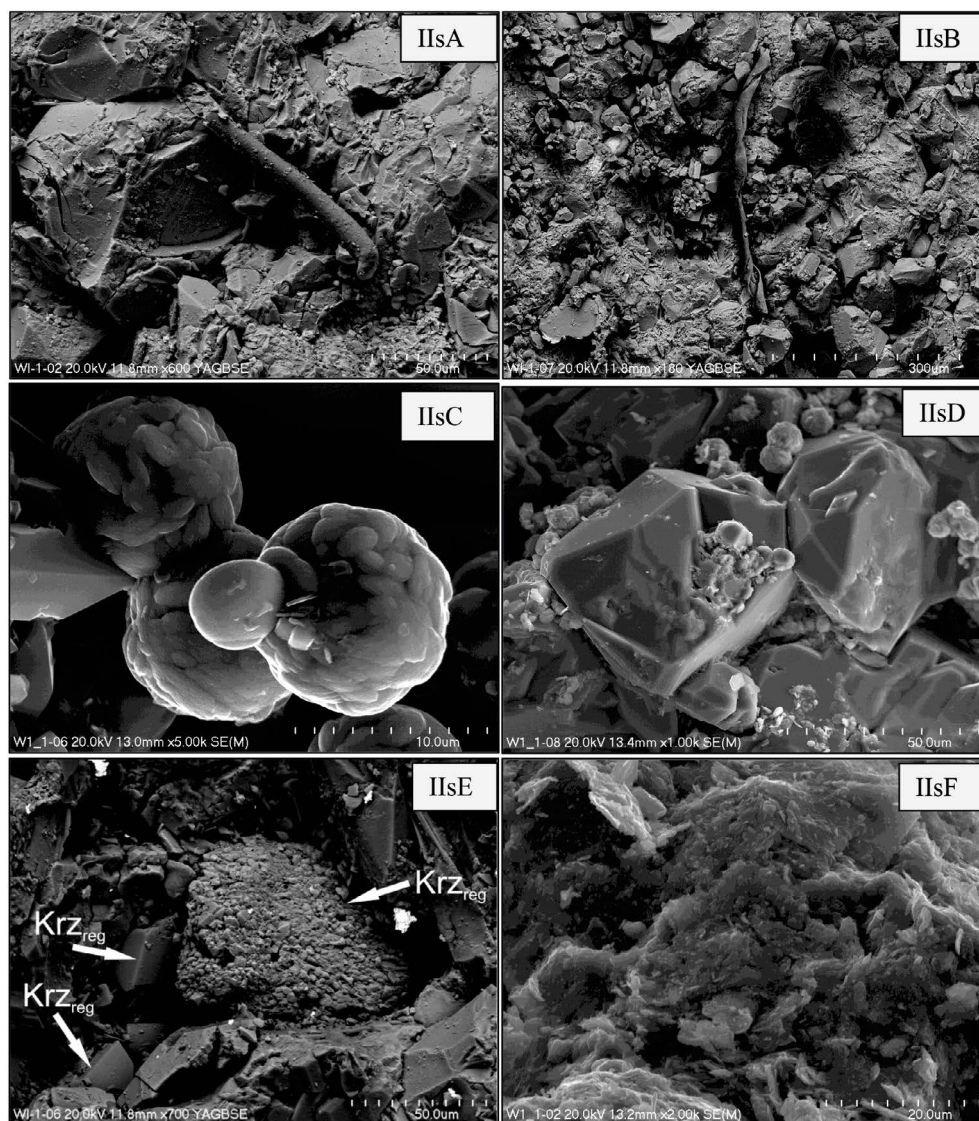
Piaskowce posiadają spoiwo krzemionkowo-ilaste i krzemionkowo-ilasto-żelaziste, które w skałach **odmiany Is_{bl}** stanowi 4,9–18,4% obj., a w skałach **odmiany IIs** 25,1% obj. (tab. 7.6). Głównym jego składnikiem jest regeneracyjna krzemionka, występująca w postaci obwóddek na ziarnach kwarcu, której udział w piaskowcach **odmiany Is_{bl}** stanowi 4,7–7,8% obj., a w piaskowcach **odmiany IIs**, o bardziej obfitym spoiwie, wzrasta do 12,7% obj. Obwódki regeneracyjne – w piaskowcach **odmiany Is_{bl}** (fot. 7.16 IsE, F) na ogół słabo wykształcone, w **odmianie IIs** są bardziej rozwinięte (7.16 IIsD, E), jednocześnie silniej wiążąc szkielet ziarnowy skały. Związki żelaza, występujące w ilości do 7,4% obj. w piaskowcach **odmiany Is_{bl}** i do 7% obj. w piaskowcach **odmiany IIs**, reprezentowane są najczęściej przez amorficzne tlenki i/lub wodorotlenki zabudowujące częściowo znacznych rozmiarów przestrzenie porowe (fot. 7.16 IsA–C). W piaskowcach **odmiany IIs**, a lokalnie w piaskowcach **odmiany Is_{bl}** stwierdzono również nagromadzenia hematytu (fot. 7.16 IIsB), obserwowane w obrazie



Fot. 7.15. Zdjęcia piaskowców formacji skłobskiej **odmiany Is_{bl}** i **IIs** w mikroskopie polaryzacyjnym (PL)
IsA i B – piaskowce o kierunkowym ułożeniu składników; jaśniejsze laminy podkreślone obecnością blaszek łyszczyków oraz domieszką materiału drobnookruchowego (matrix), ciemniejsze z nagromadzeniami związków żelaza (A – 1PL, B – 2PL), IsC – strefa o większym udziale spoiwa typu drobnookruchowego matrix oraz luźniejszym upakowaniu szkieletu ziarnowego (2PL), IsD – piaskowce o kierunkowym ułożeniu i stosunkowo ścisłym upakowaniu ziaren, widoczny agregat glaukonitu (2PL), IsE – regeneracja kwarcu (Krz_{reg}); podrzędnie wkłęsło-wypukłe kontakty międzyziarnowe (2PL), IsF – narastanie obwódek regeneracyjnych na ziarnach kwarcu (Krz_{reg}); znacznych rozmiarów przestrzeń porowa (2PL); IIsA i B – bardzo drobnodziarniste piaskowce o ścisłym upakowaniu szkieletu ziarnowego; spoiwo regeneracyjne krzemionkowe oraz lokalnie żelaziste (2PL), IIsB – strefa z nagromadzeniem związków żelaza w spoiwie oraz impregnujących ziarna kwarcu (kuliste agregaty hematytu) (1PL)

Phot. 7.15. Photographs of Skłoby Formation sandstones of **varieties Is_{bl}** and **IIs** taken in polarizing microscope (PL)

IsA i B – directional orientation of detrital grains in sandstones; light color laminae containing mica flakes and admixture of matrix, dark color laminae containing the iron compounds (A – 1PL, B – 2PL), IsC – detrital grains loosely packed; matrix in pore space; IsD – directional orientation and relatively strict packing of framework grains; glauconite aggregates (2PL), IsE – regeneration of quartz (Krz_{reg}); subordinate concavo-convex contacts of grains (2PL), IsF – outgrowths on quartz grains (Krz_{reg}); larger size pore spaces (2PL); IIsA i B – very fine grained sandstones with closely packed framework grains; regeneration siliceous cement and locally ferruginous cement (2PL), IIsB – zone with iron compounds in pore space and impregnating quartz grains (spherical hematite aggregates) (1PL)



Fot. 7.16. Zdjęcia piaskowców formacji skłobskiej (**odmiana IIs**) w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM)

A i B – szczątki organiczne w piaskowcach, C – kuliste agregaty hematytu narastające na zregenerowanych ziarnach kwarcu, D – dobrze wykształcone obwódki regeneracyjne zapewniające silne związanie szkieletu ziarnowego skały, E – autigeniczna krzemionka (Krz_{reg}) wykształcona w postaci obwódek na ziarnach kwarcu (lewa strona zdjęcia) oraz form romboedrycznych (centralna część zdjęcia),
F – nagromadzenia minerałów ilastych i związków żelaza w przestrzeniach porowych skały

Phot. 7.16. Photographs of the Skłoby Formation sandstones of **variety IIs** taken with a scanning electron microscope (SEM)

A i B – plant remains in sandstones, C – spherical hematite aggregates on quartz overgrowths, D – well-formed overgrowths on quartz grains providing the strong bonding of the framework grains, E – authigenic silica in the form of overgrowth on quartz grains (left side of picture) and rhomboedral forms (central part of picture),
F – clay minerals and iron compounds in the pore space

SEM (SE) jako kuliste agregaty narastające na zregenerowanych ziarnach kwarcu (fot. 7.16 IIsC). Obserwacje te wskazują, iż krystalizacja tego rodzaju cementów nastąpiła już po etapie regeneracji krzemionki. Pozostałe składniki spoiwa, występujące w piaskowcach **odmiany Is_{bl}** w udziale do 4,5% obj., a w piaskowcach **odmiany IIs** 5,4% obj. to przede wszystkim drobnookruchowa kwarcowa matrix (fot. 7.16 IsA-C), a także autigeniczne minerały ilaste, współwystępujące na ogół z drobnymi skupieniami związków żelaza (fot. 7.16 IIsF) i/lub krzemionką. Tylko sporadycznie w porach międzyziarnowych obserwowane są samodzielne cementy krzemionkowe wykształcone jako drobne agregaty chalcedonu.

Piaskowce formacji ostrowieckiej

Przeprowadzone obserwacje wykazały, iż piaskowce formacji ostrowieckiej **odmian blocznych Io_{bl}, IIo_{bl}, IIIo_{bl}, IVo_{bl}** z analizowanych złóż Sielec I, -II, -IV, Żarnów 1, Tresta Wesoła I, oraz **odmiany cienko i średnioławicowej Vo** ze złóż Tresta Wesoła I, -IV, Kraszków-1 oraz Mroczków Gościnnny-2, -6 wykazują zróżnicowanie m.in. w zakresie uziarnienia, wysortowania, stopnia upakowania szkieletu ziarnowego, a także zawartości i wykształcenia spoiwa.

Badane skały charakteryzują się na ogół bardzo drobnym uziarnieniem (**odmiana IIo_{bl}, IIIo_{bl}, odmiana IVo_{bl}** ze złoża Sielec II i Żarnów-1 oraz **odmiana Vo** ze złoża Kraszków-1), przyjmując wartości GSS z przedziału 3,63–4,00 (tab. 7.3). Na tym tle wyróżniają się **piaskowce odmiany Io_{bl}** oraz **odmiany Vo** ze złoża Mroczków Gościnnny-6 i Tresta Wesoła I, zaliczone do skał drobnoziarnistych (GSS: 2,79–3,00), a także skały **odmiany IVo_{bl}** ze złoża Sielec I oraz Sielec IV o frakcji gruboziarnistych pyłowców (GSS: 4,08–4,18, tab. 7.3).

Wysortowanie materiału klastycznego jest dobre i umiarkowanie dobre, a GSO zmienia się w zakresie od 0,44 do 0,74 Ø (tab. 7.2 i 7.3). Najmniejsze wartości tego parametru, a tym samym najlepsze wysortowanie wykazują piaskowce **odmiany IIo_{bl}**, a także większość próbek **odmiany IIIo_{bl}, IVo_{bl}** oraz **Vo** ze złoża Mroczków Gościnnny-6. Słabsze wysortowanie (umiarkowane) notowane jest natomiast dla skał **odmiany Io_{bl}**, pojedynczych próbek **odmiany IIIo_{bl}** (złoża Tresta Wesoła I) oraz **IVo_{bl}** (złoża Sielec II), a także dla **odmiany Vo** ze złoża Kraszków-1 i Tresta Wesoła I. Rozkłady uziarnienia są na ogół dodatnio skośne (ku drobnym frakcjom) i prawie symetryczne, a GSK zmienia się od –0,05 do 0,36 (tab. 7.2 i 7.3).

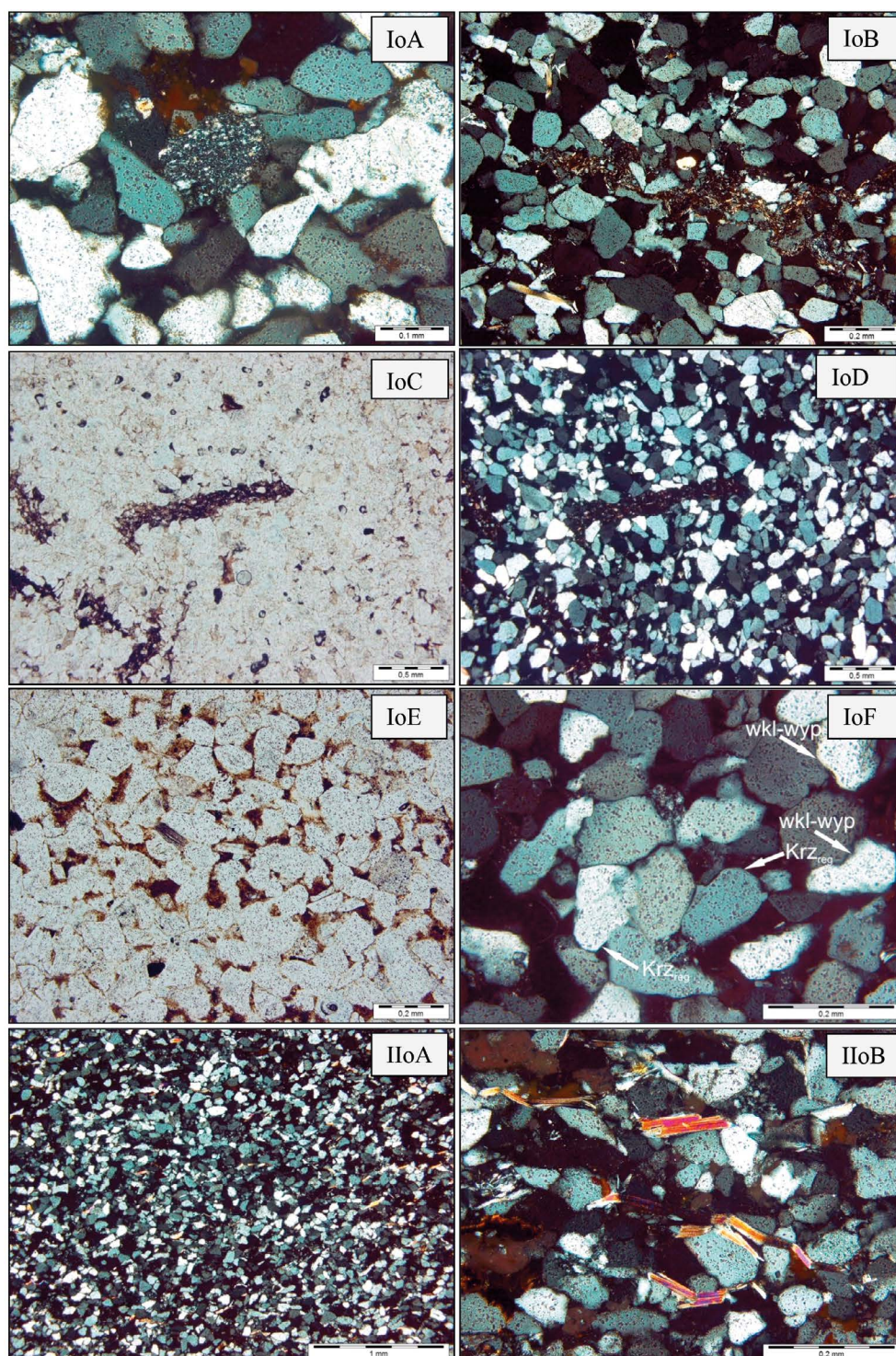
Piaskowce charakteryzują się teksturą kierunkową (**odmiana IIo_{bl}, IIIo_{bl} i Vo** ze złoża Kraszków-1 i Tresta Wesoła I, -IV), rzadziej bezładną (**odmiana Io_{bl}, IVo_{bl} i Vo** ze złoża Mroczków Gościnnny-6). W piaskowcach laminowanych widoczne jest często zróżnicowanie uziarnienia (fot. 7.17 IVoB). Wielkość składników ziarnowych waha się od 0,031 do 0,330 mm (gruboziarnisty pył–drobnoziarnisty piasek, tab. 7.4). Ziarna są na ogół pół-obtoczone i półostrokrawędziste. Szkielet ziarnowy piaskowców wykazuje zróżnicowane upakowanie – na ogół bardziej ściśle w piaskowcach **odmiany Io_{bl}** (fot. 7.17 IoF), **IIIo_{bl}** (fot. 7.17 IIIoD), i **Vo** (ze złoża Tresta Wesoła IV i Mroczków Gościnnny-1, -6, fot. 7.17 VoA), o przewadze kontaktów prostych i wklęsło-wypukłych, słabsze w piaskowcach **odmiany IIo_{bl} i Vo** (ze złoża Tresta Wesoła I oraz Kraszków-1), o przewadze kontaktów punktowych.

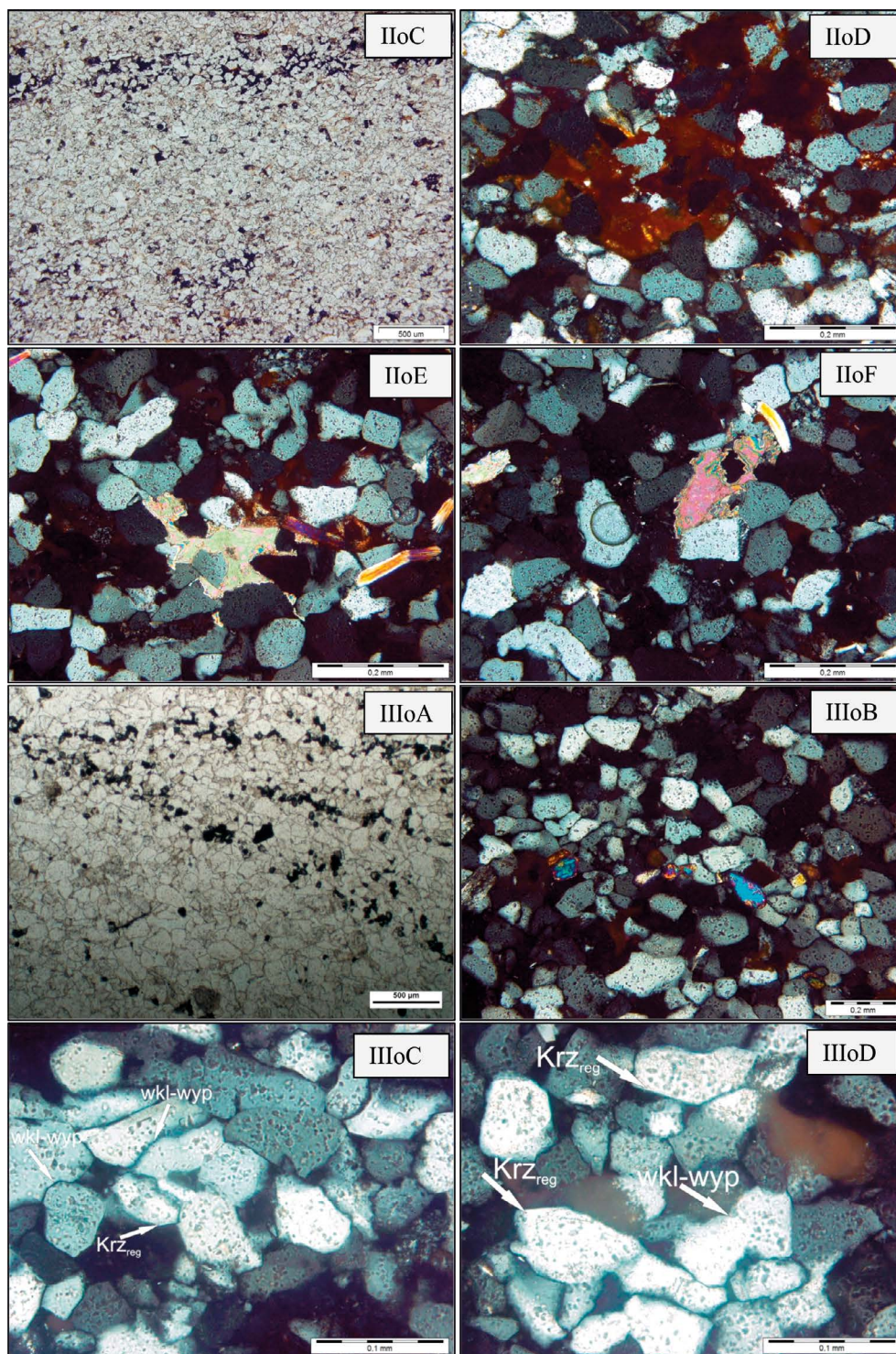
Fot. 7.17. Zdjęcia piaskowców formacji ostrowieckiej **odmian I_{ob} -Vo** w mikroskopie polaryzacyjnym (PL)

I_{oA} – piaskowce drobnopieziste, kwarcowe z dobrze obtoczonym okrucem skały krzemionkowej (typu rogowca); kontakty międzyziarnowe proste, punktowe i wklęsło-wypukłe (2PL); I_{oB} – zdeformowany okruc skały ilasto-okrucowej; ziarna kwarcu słabo obtoczone i półostrokrawędziste (2PL); I_{oC} i D – wydłużony fragment skały ilasto-okrucowej (C – 1PL, D – 2PL); I_{oE} – koncentracje spoiwa żelazistego w przestrzeni porowej; szkielet ziarnowy luźniej upakowany; I_{oF} – ściśle upakowanie ziaren; fragmentaryczne obwódki regeneracyjne na ziarnach kwarcu (Krz_{reg}); wklęsło-wypukłe kontakty ziaren (wkl-wyp; 2PL); I_{IIoA} – laminowane piaskowce bardzo drobnopieziste o kierunkowym ułożeniu składników (2PL); I_{IIoB} – nagromadzenia blaszek łuszczyków o różnym stanie zachowania; w przestrzeniach porowych lokalnie niewielkie ilości cementów żelazistych (2PL); I_{IIoC} – lamina z nagromadzeniem związków żelaza w spoiwie (1PL), I_{IIoD} – znacznych rozmiarów przestrzeń porowa zabudowana związkami żelaza (2PL), I_{IIoE} i F – skupienia sparytowego cementu węglanowego w przestrzeni międzyziarnowej (2PL); I_{IIIoA} – piaskowce bardzo drobnopieziste o teksturze kierunkowej; laminacja podkreślona obecnością kierunkowo ułożonych minerałów ciężkich (1PL); I_{IIIoB} – laminy wzbogacone w minerały ciężkie (cyrkon i minerały nieprzezroczyste) (2PL); I_{IIIoC} i D – stosunkowo niewielka przestrzeń porowa, ściśle upakowanie materiału detrytycznego; kontakty wklęsło-wypukłe (wkl-wyp); regeneracja kwarcu (Krz_{reg}) (2PL); I_{IVoA} – grubopieziste pyłowce o teksturze kierunkowej, podkreślonej kierunkowym ułożeniem blaszek miki (2PL), I_{IVoB} – grubopieziste pyłowce o teksturze kierunkowej; laminacja podkreślona zmianą uziarnienia i lokalnie obecnością cementu żelazistego (2PL); VoA – drobnopieziste piaskowce (złożo Mroczków Gościnnny-6) o dobrze upakowanym szkielecie ziarnowym; spoiwo regeneracyjne krzemionkowe z lokalnymi skupieniami związków żelaza (2PL), VoB – laminacja skały podkreślona obecnością spoiwa ilastego (2PL), VoC – nagromadzenie spoiwa ilastego w przestrzeni porowej skały (2PL), VoD – bardzo drobnopieziste piaskowce (złożo Kraszków-1) o kierunkowym ułożeniu składników; słabe upakowanie szkieletu ziarnowego, spoiwo żelazisto-krzemionkowe (1PL); VoE i F – lokalne koncentracje związków żelaza występujących w formie bardzo drobnych, brunatno-czerwonych przeświecających agregatów (prawdopodobnie goethytowych lub goethytowo-hematytowych); widoczna korozja ziaren kwarcu (1PL, 2PL)

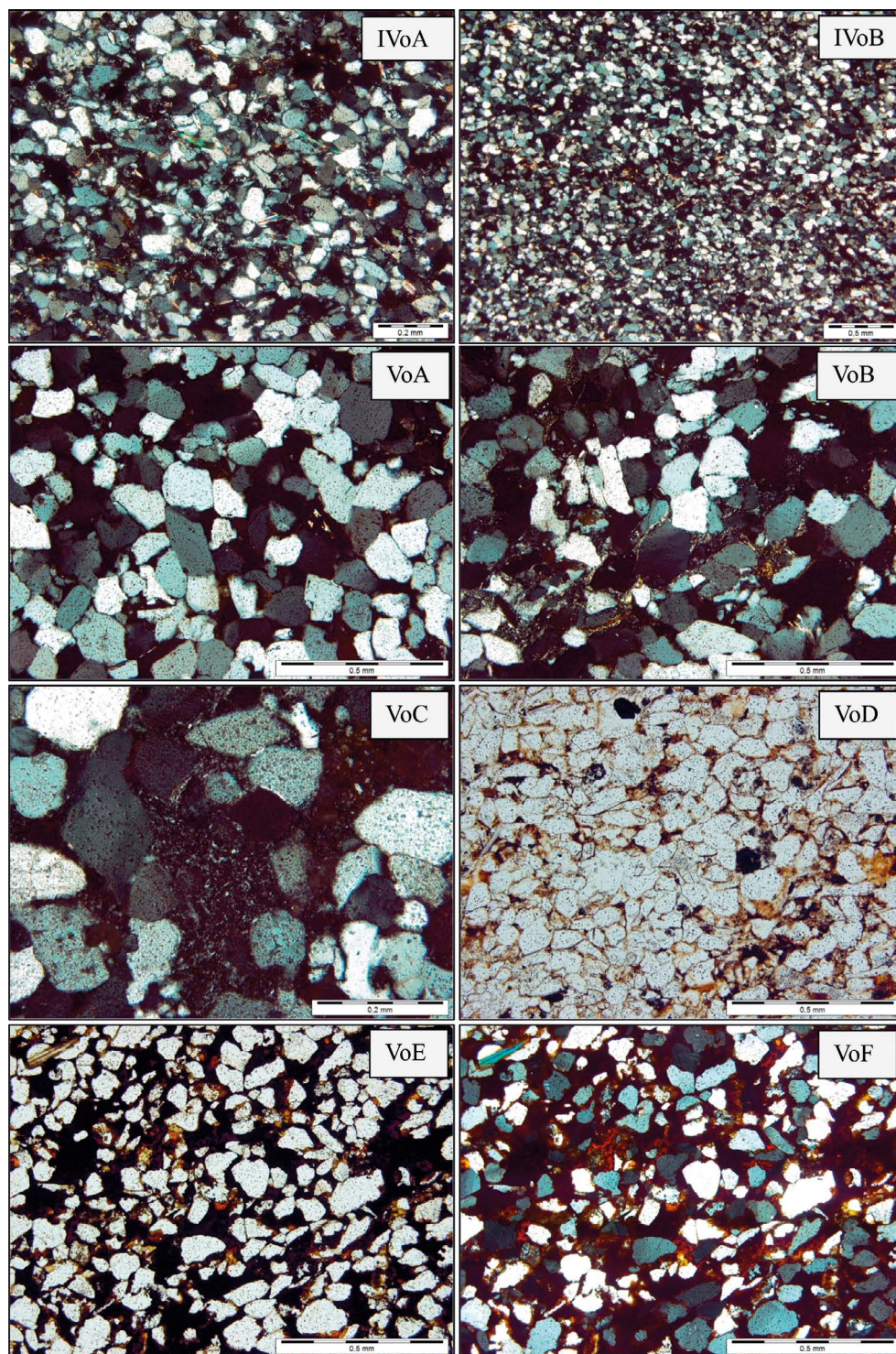
Phot. 7.17. Photographs of Ostrowiec Formation sandstones of **varieties I_{ob} -Vo** taken in polarizing microscope (PL)

I_{oA} – fine grained, quartz sandstones with well-rounded lithoclast of siliceous rock (of chert type); tangential, straight and concavo-convex contacts of grains (2PL); I_{oB} – deformed lithoclast of clastic clayey rock; quartz grains poorly rounded and semi-angular (2PL); I_{oC} and D – elongated lithoclast of clastic clayey rock (C – 1PL, D – 2PL); I_{oE} – concentrations of ferruginous cement in pore space; framework grains loosely packed, I_{oF} – framework grains strictly packed; outgrowth on quartz grains (Krz_{reg} , size up to 0.01 mm; 1PL); concavo-convex grain contact (wkl-wyp; 2PL); I_{IIoA} – laminated, very fine grained sandstones with directly oriented components (2PL); I_{IIoB} – mica flakes in various stages of alteration; locally small amounts of residual ferruginous cement in pore space (2PL); I_{IIoC} – dark lamina enriched in ferruginous cement (1PL); I_{IIoD} – larger size pore space with a concentrations of iron compounds (2PL); I_{IIoE} and F – sparry carbonate cement (sparite) occurring locally in the pore space (2PL); I_{IIIoA} – very fine grained sandstones with directly oriented components; higher concentration of directly oriented heavy minerals in separate laminae (1PL); I_{IIIoB} – laminae enriched in heavy minerals (zirconium and opaque minerals) (2PL); I_{IIIoC} and D – relatively small sizes of the pore space; closely packed detrital grains; concavo-convex contacts of grains; regeneration of quartz; I_{IVoA} – coarse grained siltstones with directly orientated mica flakes (2PL); I_{IVoB} – coarse grained siltstones; lamination accentuated by gradation of grain sizes and locally presence of the ferruginous cement (2PL); VoA – fine grained sandstones (Mroczków Gościnnny-6 deposit) with closely packed framework grains; regeneration siliceous cement and locally iron compounds (2PL); VoB – lamination of sandstones accentuated by presence of clay minerals cements (2PL); VoC – clay minerals in the pore spaces (2PL); VoD – very fine grained sandstones (Kraszków-1 deposit) with directly oriented components; framework grains loosely packed, ferruginous-siliceous cement (1PL); VoE and F – locally occurring concentrations of iron compounds in the form of very fine, brown-redish translucent aggregates (probably goethite or goethite-hematite); corrosion of quartz grains (1PL, 2PL)





Fot. 17. cd.
Phot. 17. cont.



Fot. 17. cd.
Phot. 17. cont.

W dwóch ostatnich odmianach znacznych rozmiarów przestrzenie porowe częściowo zabudowane zostały przez tlenki i/lub wodorotlenki żelaza (fot. 7.17 IIoC, D, fot. 7.17 VoD, E, F), a w **odmianie IIo_{bl}** dodatkowo przez obserwowany lokalnie sparytowy cement węglanowy (fot. 7.17 IIoE, F).

Piaskowce cechuje dojrzałość petrograficzna składników szkieletu ziarnowego (fot. 7.17, tab. 7.5, 7.6), zbudowanego w przewodzie z kwarcu (od 64,0 do 92,1% obj.), z podrzędnym udziałem dobrze obtoczonych okruchów skał (0,3–4,0% obj.), łyszczyków (do 6,8% obj.) oraz sporadycznie skaleni (do 1,4% obj.). Minerale ciężkie lokalnie tworzą większe koncentracje, a ich udział nie przekracza 2,8% obj. (tab. 7.5, 7.6).

Kwarc występuje najczęściej w postaci ziaren półobtoczonych i półostrokrawędzistych (fot. 7.17 IoB). Przeważają osobniki monokrystaliczne, prosto (rzadziej faliście) wygaszające światło, a tylko podrzędnie obserwowane są ziarna polikrystaliczne. Największy udział kwarcu stwierdzono w piaskowcach **odmiany IIIo_{bl}** (81,1–87,8% obj.) i w wybranych próbkach **odmiany IVo_{bl}** (maksymalnie 92,1% obj.) i **Vo** (do 82,6% obj.), najmniejszy w skałach **odmiany IIo_{bl}** (64,0–76,6% obj.), **Io_{bl}** (71,4–77,3% obj.) i wybranych próbkach odmiany **Vo** (minimalnie 70,1% obj.) (tab. 7.6).

Okruchy skał występują na ogół w formie dobrze obtoczonych ziaren (fot. 7.17 IoA). W analizowanych odmianach piaskowców nie stwierdzono większego zróżnicowania petrograficznego tych składników. Dominują litoklasty krzemionkowe (fot. 7.17 IoA), przy mniejszym udziale łupków łyszczykowych i skał kwarcowo-skalenionych. Piaskowce **odmiany Io_{bl}** wyróżnia obecność wydłużonych okruchów skał ilasto-okruchowych (fot. 7.17 IoB, C, D, tab. 7.6), występujących w preparacie w postaci stref o długości od około 0,60 do 2 mm i szerokości od 0,05 do 0,3 mm, pełniących funkcję spoiwa typu pseudomatrix. Okruchy te zbudowane są z kwarcu, blaszek miki, minerałów ilastych oraz związków żelaza, stanowiąc prawdopodobnie materiał redeponowany z podłoża.

Spośród łyszczyków, występujących głównie w formie silnie zwietrzałych i rozwarstwionych na końcach blaszek (fot. 7.18 IVoD, VoD), obserwowany jest biotyt i muskowit. W sąsiedztwie biotyту miejscami zaznacza się obecność skupień żelazistych. Łyszczyki często układają się kierunkowo, podkreślając laminację skały (fot. 7.17 IIoA, B, IVoA). Większe nagromadzenia tych składników stwierdzone zostały w piaskowcach odmiany IIo_{bl} i gruboziarnistych pyłowcach odmiany IVo_{bl} (tab. 7.6).

Skalenie, reprezentowane głównie przez odmianę potasową, rzadziej plagioklasy, nie mają większego znaczenia w budowie szkieletu ziarnowego piaskowców. Na ogół są silnie zwietrzałe i przeobrażone. Do głównych obserwowanych przemian należą przejawy serycytyzacji oraz kaolinityzacji (fot. 7.18 VoC, D).

W piaskowcach występuje zespół minerałów ciężkich odpornych na transport i wietrzenie, takich jak cyrkon (zdecydowana przewaga ilościowa), rutyl i turmalin, a podrzędnie obserwowane są także amfibole. W większych ilościach w preparatach występują minerały nieprzezroczyste, reprezentowane przez związki żelaza i/lub tytanu oraz spinele, zidentyfikowane na podstawie analiz SEM/EDS. Składniki te są zarówno bezładnie rozmieszczone, jak też lokalnie koncentrują się w formie poziomych i przekątnych lamin (fot. 7.17 IIIoA, B, fot. 7.18 IIIoA).

Drugi z wymienionych przypadków dotyczy w szczególności piaskowców **odmiany IIIo_{bl}**, w której kierunkowo ułożone minerały ciężkie towarzyszą często blaszkom miki oraz drobniejszej frakcji ziaren kwarcu. Obecność lamin wzbogaconych w minerały ciężkie może wskazywać na długotrwałe przemywanie osadu w środowisku wodnym, pod wpływem działania słabych prądów.

Z pozostałych składników w dwóch preparatach stwierdzono obecność detrytusu roślinnego, pojedynczych, kulistych, zwietrzałych agregatów glaukonitu, a w jednym preparacie bioklastu w postaci igły gąbki.

Spoiwo piaskowców stanowi mieszanina krzemionki, związków żelaza oraz minerałów ilastych, lokalnie z domieszką materiału okruszowego. Zarówno proporcje ilościowe tych składników, jak też ich łączny udział w skale wykazują znaczne zróżnicowanie. Sumaryczna ilość spoiwa w omawianych piaskowcach zawiera się w przedziale od 4,2 do 26,0% obj. (tab. 7.5 i 7.6). Najważniejszym składnikiem spoiwa jest krzemionka (2,8–15,0%), wykształcona głównie w postaci fragmentarycznych obwódek regeneracyjnych (fot. 7.17 IoF, IIIoC, D, fot. 7.18 IIIoE, IVoA), a tylko sporadycznie skupień mikrokrystalicznych w przestrzeniach porowych (fot. 7.18 IIIoF). Największy udział tego cementu obserwowany jest w blocznych piaskowcach **odmian Io_{bl}**, **IIIo_{bl}** i **IVo_{bl}** oraz cienko- i średnioławicowych piaskowcach **odmiany Vo** (złoża w Treście Wesołej oraz w Mroczkowie Gościnnym). Mniejszy stopień regeneracji wykazują wielobarwne piaskowce **odmiany IIo_{bl}** ze złoża Sielec IV oraz **odmiana Vo** ze złoża Kraszków-1. Drugi rodzaj spoiwa, z udziałem 0,7–8,3% obj., wykształcony jest w postaci minerałów ilastych (głównie kaolinitu – fot. 7.18 IIIoD, IVoB, C), które samodzielnie, bądź wraz z drobnymi blaszkami łyszczyków, krzemionką i związkami żelaza wypełniają przestrzenie porowe (fot. 7.17 VoB, C, fot. 7.18 IIIoC, VoA, B). Do tej grupy zaliczone zostały również detrytyczne ziarna kwarcu o średnicy poniżej 0,031 mm. Większe ilości tego rodzaju spoiwa występują w piaskowcach **odmiany Vo** ze złoża w Mroczkowie Gościnnym, **odmiany Io_{bl}** ze złoża Sielec I, a także próbkach gruboziarnistych pyłowców odmiany **IVo_{bl}**. Spoiwo żelaziste, o charakterze kontaktowym i kontaktowo-porowym, wykształcone jest w formie amorficznych związków (fot. 7.17 IoE), a także wodorotlenków i tlenków. Lokalnie jego obecność podkreśla laminację skały (fot. 7.17 IIoC). Najwyższy udział cementu żelazistego (ponad 14% obj.) stwierdzono w wielobarwnych piaskowcach **odmiany IIo_{bl}** ze złoża Sielec IV oraz w piaskowcach **odmiany Vo** ze złoża Kraszków-1 (fot. 7.17 VoD). W ostatnich z wymienionych obecne są ponadto większe koncentracje bardzo drobnych agregatów, przeświecających na brunatno i czerwono, co wskazuje zapewne na obecność goethytu, a być może również hematytu. Strefy te obserwowane były w skale w formie makroskopowo widocznych „żyłek”. Obecność kulistych agregatów hematytu, impregnujących ziarna kwarcu oraz występujących na kontaktach międzyziarnowych, stwierdzono w czerwonych piaskowcach **odmiany Vo** ze złoża Treść Wesoła I. Poza trzema najczęściej wyróżnianymi rodzajami spoiwa w piaskowcach **odmiany IIo_{bl}** zidentyfikowano kilka nieregularnych skupień sparytowego cementu węglanowego (fot. 7.17 IIoE, F).

Zgodnie z klasyfikacją Pettijohna (1972) omawiane odmiany piaskowców zaliczone zostały do arenitów kwarcowych. Wyjątek stanowią piaskowce **odmiany IIo_{bl}**, dwie próbki

odmiany **IVo_{bl}** oraz jedna próbka odmiany **Io_{bl}**, z uwagi na większy udział okruchów skał i łyszczyków (powyżej 5% obj.) zaklasyfikowane jako arenity sublityczne.

Piaskowce formacji borucickiej

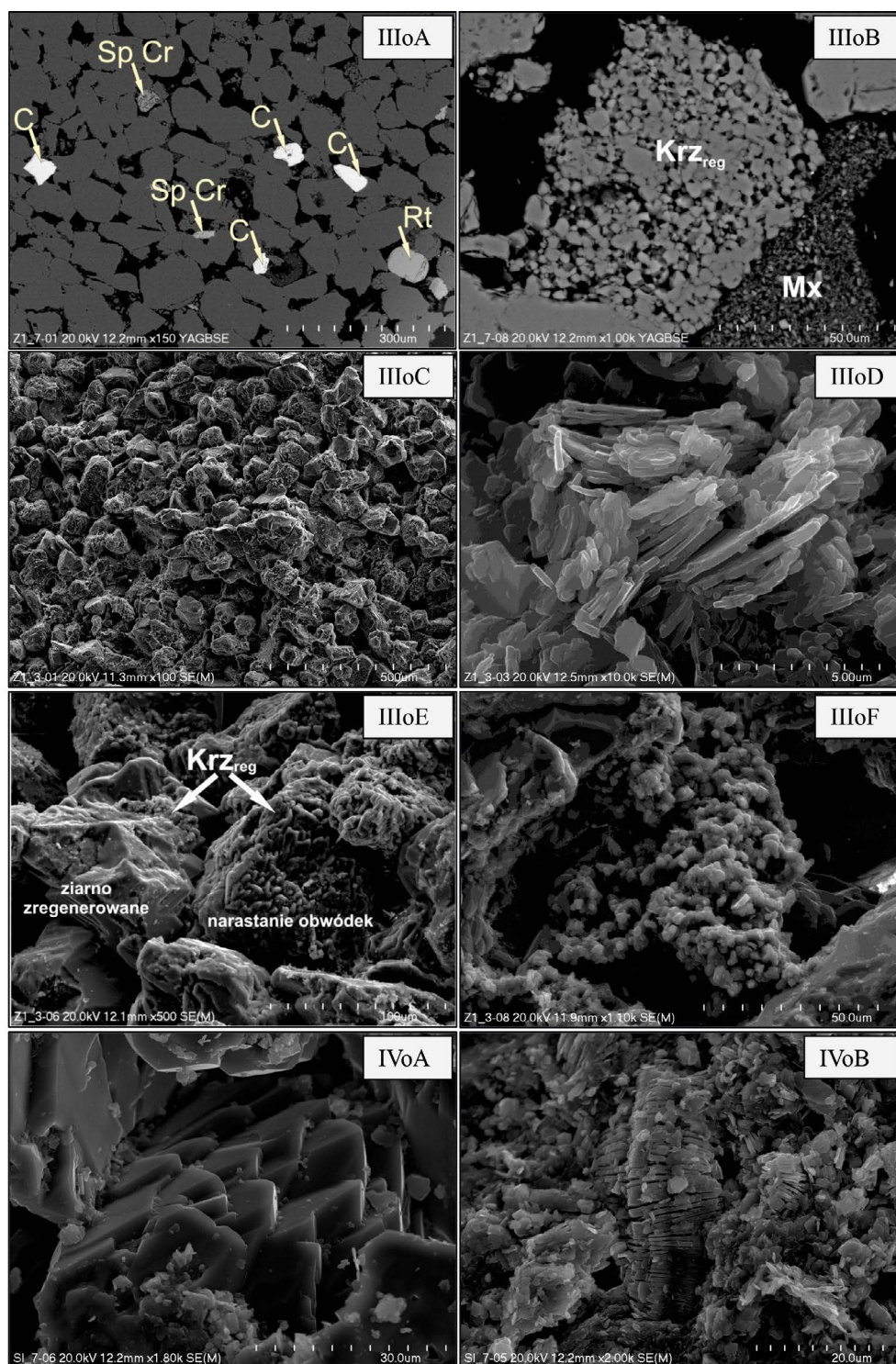
Piaskowce formacji borucickiej z analizowanych złóż reprezentowane są przez dwie odmiany drobnoziarniste (**Ib_{bl}** i **Ib_{bl}**), wyróżnione w złożach w Dąbiu, oraz odmianę bardzo drobnoziarnistą ze złoża Pilichowice I (**IIIb**). Średnia średnica ziaren gruboławicowych piaskowców odmian **Ib_{bl}** i **Ib_{bl}** jest zbliżona, zmieniając się w zakresie odpowiednio 2,86–2,99 Ø i 2,91–3,07 Ø (tab. 7.3). Próbką piaskowców cienkoławicowych odmiany **IIIb**

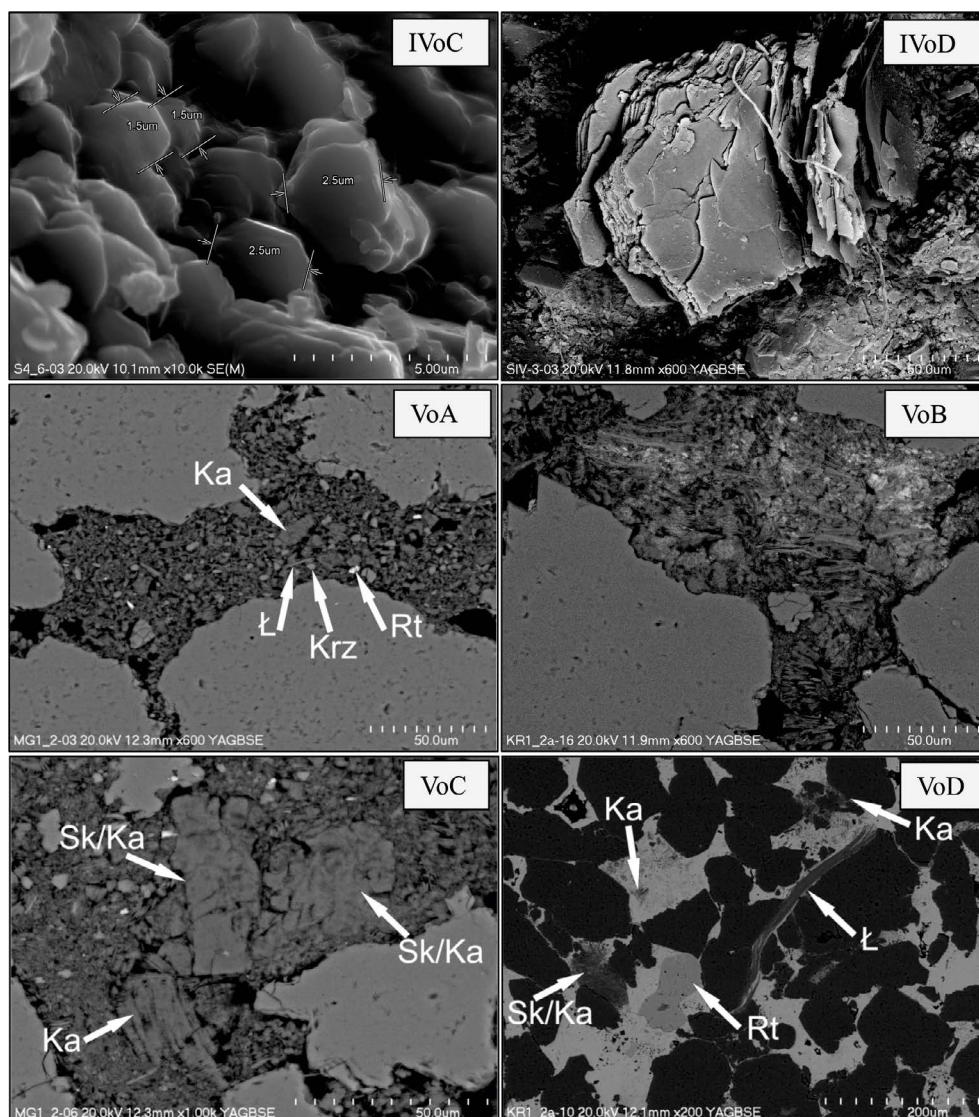
Fot. 7.18. Zdjęcia piaskowców formacji ostrowieckiej (odmiany **IIIo_{bl}-Vo**) w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM)

IIIoA – nagromadzenia minerałów ciężkich podkreślających laminację piaskowców (C – cyrkon, Sp Cr – spinel chromowy, Rt – rutyl); **IIIoB** – spoiwo mikrokryształiczne krzemionkowe (Krz) oraz typu drobnookruchowego matrix (Mx) wypełniające przestrzeń porową piaskowców; **IIIoC** – dobre upakowanie materiału detrytycznego, spoiwo skały zbudowane z regeneracyjnych obwódek kwarcowych oraz minerałów ilastych; **IIIoD** – spoiwo ilaste wykształcone w postaci drobnych płytek kaolinitu; **IIIoE** – spoiwo krzemionkowe wykształcone w postaci w różnym stopniu rozwiniętych obwódek regeneracyjnych (Krz_{reg}); **IIIoF** – spoiwo krzemionkowe wykształcone w postaci mikrokryształicznej krzemionki w przestrzeniach porowych; **IVoA** – kwarc autigeniczny wykształcony w postaci form pryzmatycznych; **IVoB** – spoiwo ilaste wykształcone w postaci drobnych płytek oraz robakowatych agregatów kaolinitu; **IVoC** – spoiwo ilaste wykształcone w postaci drobnych płytek kaolinitu o wielkości do około 2,5 µm; **IVoD** – rozwarstwiona blaszka muskowitu; **VoA** – spoiwo typu matrix zbudowane z krzemionki (Krz), minerałów ilastych (Ka – kaolinit), drobnych blaszek miki (L) oraz związków tytanu (rutylu; Rt) w przestrzeniach międzyziarnowych piaskowców odmiany Vo; **VoB** – nagromadzenia minerałów ilastych (kaolinitu), drobnych blaszek miki oraz związków żelaza, tworzących spoiwo piaskowców w złożu Kraszków-1; **VoC** – skaolinityzowane ziarna skaleni (Sk/Ka); kaolinit w przestrzeni porowej piaskowców (Ka); **VoD** – większe koncentracje związków żelaza (jasnoszary kolor) w formie „żyłek” w piaskowcach ze złoża Kraszków-1; w składzie piaskowców obok kwarcu silnie zwietrzały biotyt (o obniżonej zawartości żelaza; L), minerały ciężkie (rutyl; Rt), skaolinityzowane ziarno skaleni (Sk/Ka), kaolinit (Ka); szkielet ziarnowy luźno upakowany, przewaga kontaktów punktowych

Phot. 7.18. Photographs of the Ostrowiec Formation sandstones (varieties **IIIo_{bl}-Vo**) taken in a scanning electron microscope (SEM)

IIIoA – lamination in sandstones accentuated by concentration of heavy minerals (C – zirconium, Sp Cr – chromium spinels, Rt – rutile); **IIIoB** – microcrystalline siliceous cement (Krz) and matrix (Mx) filling the pore space; **IIIoC** – strictly packed detrital grains, cement of sandstones comprises of quartz overgrowth and clay minerals; **IIIoD** – clay mineral cement composed of small sizes flake of kaolinite; **IIIoE** – siliceous cement compose of regeneration quartz overgrowth in different stages of development (Krz_{reg}); **IIIoF** – microcrystalline silica in the pore space; **IVoA** – authigenic quartz in the form of prismatic crystals; **IVoB** – clay minerals cement in the form of small flakes and vermiform of kaolinite; **IVoC** – clay cement in the form of small flakes of kaolinite of sizes up to ca. 2,5 µm; **IVoD** – exfoliated muscovite flake; **VoA** – matrix composed of silica (Krz), clay minerals (Ka – kaolinit), small flakes of mica (L) and titanium compounds (rutile; Rt) in the pore space of sandstones of variety Vo; **VoB** – matrix composed of clay minerals (kaolinite), small flakes of mica and iron compounds in pore space of sandstones from Kraszków-1 deposit; **VoC** – kaolinized feldspar grains; kaolinite in the pore space of sandstones; **VoD** – larger concentrations of iron compounds in the form of “veins” in the sandstones from Kraszków-1 deposit (light-grey color); framework grains beside the quartz consist of strongly weathered biotite (of lowered content of iron; L), heavy minerals (rutile; Rt), kaolinized feldspar grain (Sk/Ka), kaolinite (Ka); framework grain loosely packed, predominance of tangential contacts





Fot. 17. cd.

Phot. 17. cont.

charakteryzuje się natomiast zdecydowanie wyższą wartością tego parametru (3,61 Ø). Wy-sortowanie materiału ziarnowego jest na ogół średnie (tab. 7.2 i 7.3). Wyjątek stanowią piaszkowce **odmiany IIIb**, a także pojedyncze preparaty pozostałych odmian, o wysortowaniu dobrym lub na granicy wysortowania dobrego i średniego. GSO wykazuje wahania między 0,42 a 0,64 Ø. Rozkład uziarnienia jest na ogół skośny ku drobnym frakcjom (skośność pozytywna), rzadziej prawie symetryczny, a sporadycznie skośny ku grubszym frakcjom (skośność negatywna). GSK zmienia się od -0,17 do 0,47 (tab. 7.2 i 7.3).

Piaskowce wykazują teksturę uporządkowaną lub bezładną. Kierunkowe ułożenie składników jest dobrze widoczne przede wszystkim w skałach o laminacji przekątnej riplemarków wstępujących. Lokalnie laminacja wyrażona jest ponadto zmianą uziarnienia. Wielkość składników detrytycznych waha się od 0,033 do 0,193 mm (gruboziarnisty pył – drobnoziarnisty piasek) dla piaskowców **odmiany IIIb**, oraz od 0,039 do 0,385 mm (gruboziarnisty pył – średnioziarnisty piasek) dla piaskowców **odmian Ib_{bl} i IIb_{bl}** (tab. 7.4). Ziarna są na ogół półostrokrawędziste i półobtoczone. Szkielet ziarnowy wykazuje słabsze upakowanie w piaskowcach **odmian Ib_{bl} i IIb_{bl}** (fot. 7.19 IbA-D, IIbA,B, 7.20 IbA-C, E), z przewagą kontaktów punktowych i prostych, w porównaniu do skał **odmiany IIIb**, w których kontakty proste i wklęsło-wypukłe są liczniejsze od punktowych (fot. 7.19 IIIbA, B).

Materiał detrytyczny reprezentowany jest w przewodzie przez kwarc, którego udział w piaskowcach ze złóż w Dąbiu kształtuje się na poziomie 69,4–76,8% obj. dla **odmiany Ib_{bl}** i 76,4–85,0% obj. dla **odmiany IIb_{bl}** (tab. 7.3). Z kolei w próbkach piaskowców ze złoża Pilichowice I (**odmiana IIIb**) stanowi 68,7% obj. Ważnymi składnikami okruszowymi są również litoklasty, miki i skalenie, których łączny udział w piaskowcach dochodzi maksymalnie do 8,4% obj. w **odmianie Ib_{bl}**, 5,0% obj. w **odmianie IIb_{bl}** i 3,3% obj. w **odmianie IIIb**. Minerale ciężkie stanowią do 1,8% obj.

Kwarc występuje w postaci ziaren monokrystalicznych, o prostym, rzadziej falistym wygaszaniu światła. Osobniki polikrystaliczne obserwowane są sporadycznie. W preparatach odmiany **IIb_{bl}** ziarna kwarcu noszą prawdopodobnie ślady rozpuszczania (fot. 7.20 IIbC). Okruszy skał reprezentowane są głównie przez dobrze obtoczone fragmenty skał krzemionkowych.

Skalenie są najczęściej skaolinityzowane (fot. 7.20 IbC-E). Spośród łuszczyków stwierdzono obecność w różnym stopniu zachowanych blaszek muskowitu (fot. 7.19 IbC, D, fot. 7.20 IbE), a także wykazującego przejawy wietrzenia biotytu. Minerale ciężkie to przede wszystkim przeważające ilościowo w skale minerale nieprzezroczyste, a także rutyl oraz cyrkon.

Spoiwo piaskowców, zbudowane w skałach **odmiany Ib_{bl}** ze związków żelaza (2,1–18,6% obj.), niewielkich ilości regeneracyjnej krzemionki (3,0–6,9% obj.) oraz mieszaniny krzemionki, minerałów ilastych i związków żelaza (do 7,9% obj., fot. 7.20 IbA, B) stanowi łącznie od 12,1 do 25,5% obj. skały. W badaniach SEM/EDS lokalnie stwierdzono ponadto występujące wraz kaolinitem i związkami żelaza, związki tytanu (fot. 7.20 IbF). W piaskowcach **odmiany IIb_{bl}** spoiwo jest nieco mniej obfite (12,6–18,0% obj.), przy większej zawartości krzemionki regeneracyjnej (8,7–12,6% obj.) i niższym udziale pozostałych komponentów (cement żelazisty do 9,3% obj., spoiwo krzemionkowo-ilasto-żelaziste do 1,1% obj.). Spoiwo ilaste występuje lokalnie w postaci drobnych płytek kaolinitu (fot. 7.20 IIbD). W piaskowcach **odmian Ib_{bl} i IIb_{bl}**, ze złóż w Dąbiu, na części ziaren obserwowane są dość dobrze wykształcone obwódki regeneracyjne (fot. 7.20 IIbA, B). W badaniach skaningowych piaskowców **odmiany IIb_{bl}** stwierdzono również skupienia związków manganu i minerałów ilastych, narastające w formie rozet na powierzchni pokrytej krzemionką (fot. 7.20 IIbE, F). Stosunkowo wysoki udział cementu żelazistego (14,0% obj.) oraz regeneracyjnego krzemionkowego (12,4% obj.) stwierdzono również w skałach **odmiany IIIb** (łącznie 26,4% obj.).

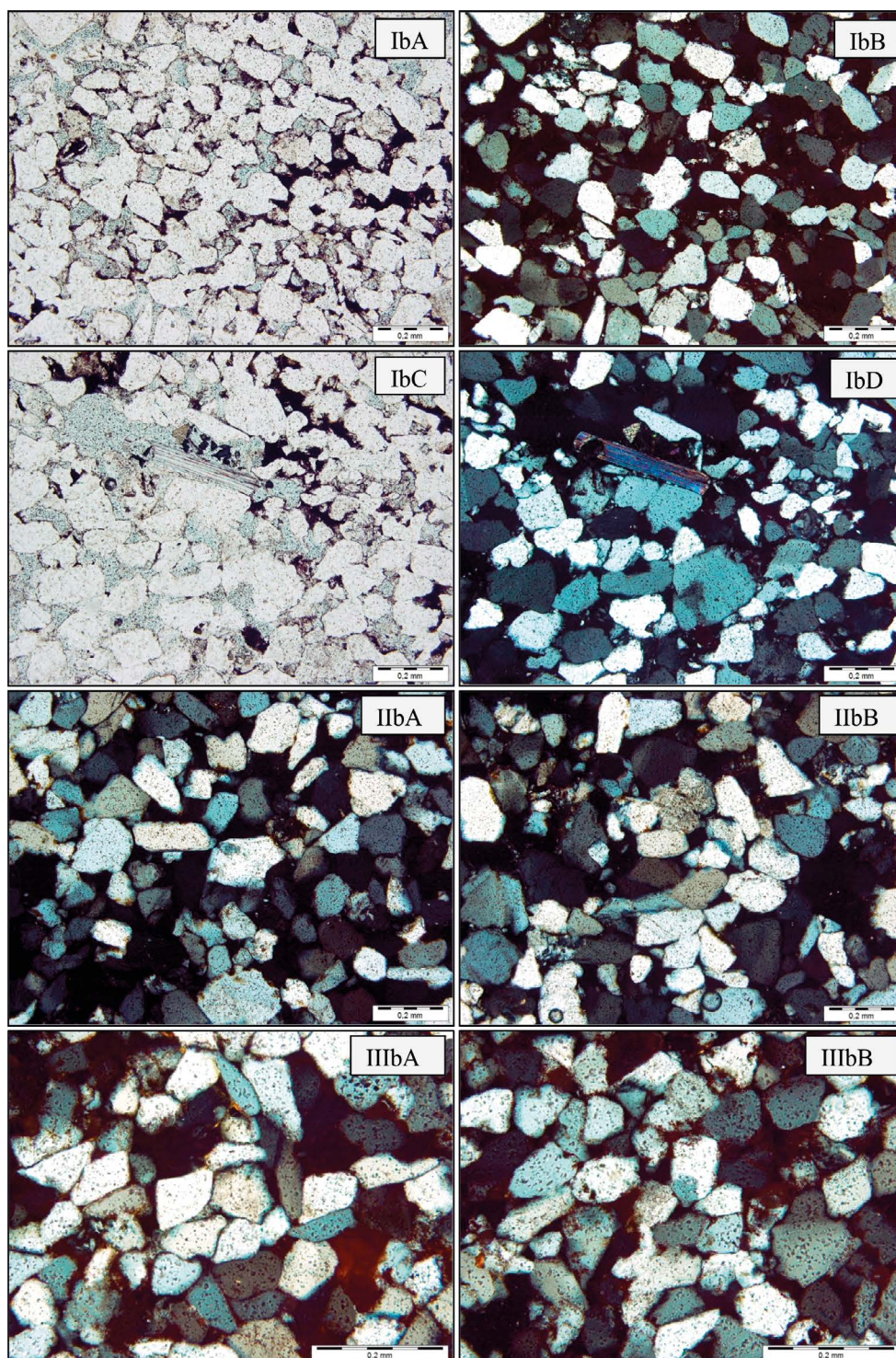
Spoiwo piaskowców ma charakter kontaktowy i kontaktowo-porowy, tylko w niewielkim stopniu wypełniając znacznych rozmiarów przestrzeń porową. Lokalnie w preparatach odmiany **Ib_{bl}** i **IIb_{bl}** obserwowane są pustki, stanowiące prawdopodobnie pozostałość po wykruszonych, słabo związanych ziarnach. Na podstawie obserwacji w mikroskopie skaninowym ustalono, iż ich obecność związana jest częściowo również z procesami transformacji skaleni w minerały ilaste (fot. 7.20 IbD).

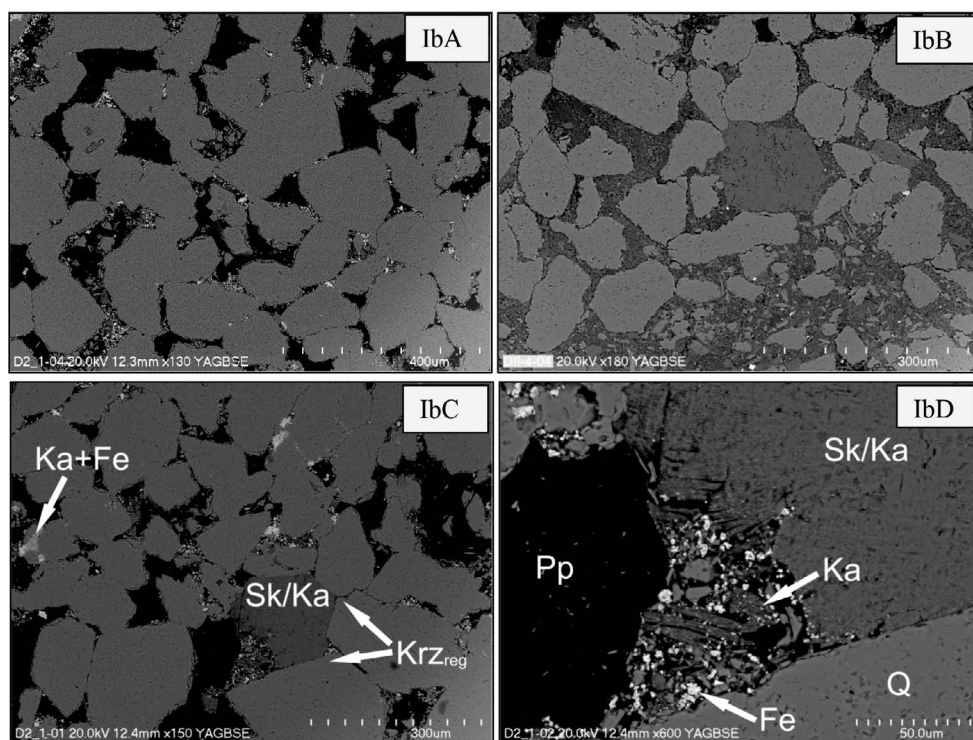
Wszystkie omawiane odmiany piaskowców zaliczone zostały do arenitów kwarcowych. Wyjątek stanowi jedna próbka odmiany **Ib_{bl}** odpowiadająca według podziału Pettijohna (1972) arenitowi sublitycznemu.



Fot. 7.19. Zdjęcia piaskowców formacji borucickiej odmian **Ib_{bl}–IIIb** w mikroskopie polaryzacyjnym (PL)
IbA i **B** – drobnoziarniste piaskowce o spoiwie krzemionkowo-ilasto-żelazistym; słabo upakowany szkielet ziarnowy (A – 1 PL, B – 2 PL), **IbC** i **D** – słabsze wysortowanie składników; znacznych rozmiarów przestrzenie porowe wypełnione lokalnie cementem żelazistym; dobrze zachowana blaszka miki wskazująca na słabą kompakcję mechaniczną osadu (C – 1 PL, D – 2 PL); **IIbA** i **B** – drobnoziarniste piaskowce o spoiwie krzemionkowo-ilasto-żelazistym; kontakty międzyziarnowe punktowe, rzadziej proste i wklęsło-wypukłe (2PL); **IIIbA** – bardzo drobnoziarniste piaskowce o spoiwie krzemionkowo-żelazistym; szkielet ziarnowy dość ściśle upakowany; kontakty międzyziarnowe na ogół proste (2PL); **IIIbB** – amorficzne związki żelaza tworzące cement o charakterze porowym i kontaktowo-porowym (2PL)

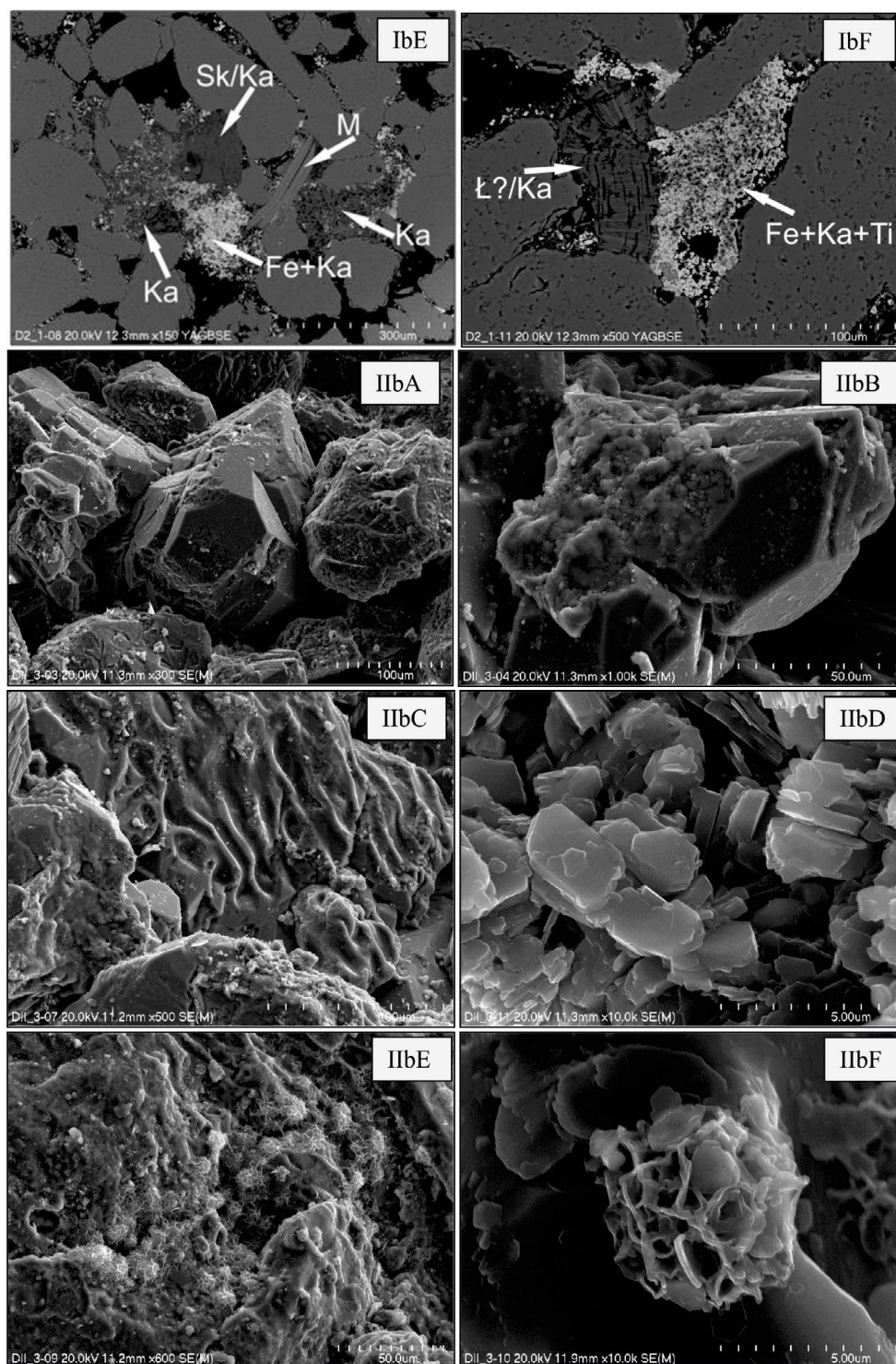
Phot. 7.19. Photographs of Borucice Formation sandstones of varieties **Ib_{bl}–IIIb** taken in polarizing microscope (PL)
IbA i **B** – fine grained sandstones of siliceous-clay-ferruginous cement; loosely packed framework grains (A – 1 PL, B – 2 PL), **IbC** i **D** – weakly sorted components; larger size pore space locally filled by ferruginous cements; well preserved mica flake indicating the less advanced mechanical compaction processes (C – 1 PL, D – 2 PL); **IIbA** and **B** – fine grained sandstones with siliceous-clay-ferruginous cement; interparticulate contact of tangential type, subordinately straight and concavo-convex (2PL); **IIIbA** – very fine grained sandstones with siliceous-ferruginous cement; framework grains relatively closely packed; interparticulate contact generally tangential (2PL); **IIIbB** – ferruginous cement composed of amorphous iron compounds of pore and contact-pore filling type (2PL)





Fot. 7.20. Zdjęcia piaskowców formacji borucickiej (odmiana **Ib_b**–**Ib_{b1}**) w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) IbA i B – piaskowce drobnopieziste o słabym upakowaniu szkieletu ziarnowego; znacznych rozmiarów przestrzenie porowe lokalnie wypełnione spoiwem krzemionkowo-ilasto-żelazistym; IbC – ziarno skalenia ulegające procesowi kaolinityzacji (Sk/Ka); lokalnie silniejsza regeneracja krzemionki (Krz_{reg}) oraz nagromadzenia związków żelaza (Fe) i kaolinitu (Ka); IbD – powiększony fragment ziarna skalenia ulegającego procesowi kaolinityzacji (Sk/Ka); wzdłuż brzegu ziarna nagromadzenie drobnych blaszek kaolinitu i związków żelaza; znacznych rozmiarów przestrzeń porowa (usunąć objaśnienie Q) (Pp); IbE – nagromadzenia kaolinitu (Ka) i związków żelaza (Fe) w przestrzeniach porowych; widoczne skaolinityzowane ziarno skalenia (Sk/Ka) oraz rozwarstwiona blaszka muskowitu (M); IbF – nagromadzenia związków żelaza (Fe), tytanu (Ti) oraz blaszek kaolinitu (Ka) w przestrzeni porowej; skaolinityzowany lyszczek (Ł, ciemniejsze strefy – czysty kaolinit, jaśniejsze – kaolinit o podwyższonej zawartości potasu); IbA – obwódki kwarcu autogenicznego na ziarnie detrytycznym, IbB – różny stopień regeneracji kwarcu, IbC – ślady rozpuszczania ziaren kwarcu; IbD – drobne płytki kaolinitu w przestrzeni porowej piaskowców, IbE – nagromadzenia związków manganu na powierzchni pokrytej krzemionką, IbF – rozeta utworzona przez związki manganu i płytki kaolinitu

Phot. 7.20. Photographs of Borucice Formation sandstones of variety Ib taken in scanning electron microscope (SEM) IbA and B – fine grained sandstones with loosely packed framework grains; larger size of pore spaces locally filled with the siliceous-clay-ferruginous cement; IbC – feldspar grain with the advanced process of kaolinitization (Sk/Ka); locally more advanced processes of regeneration of silica (Krz_{reg}); iron compounds (Fe) and kaolinite (Ka); IbD – an enlarged part of kaolinitized feldspar grain (Sk/Ka); along the boundary of feldspar grain small flakes of kaolinite and iron compounds; larger size pore space (Pp); IbE – kaolinite (Ka) and iron compounds (Fe) in the pore spaces; kaolinitized grain of feldspar (Sk/Ka) and exfoliated muscovite flake (M); IbF – iron compounds (Fe), titanium (Ti) and kaolinite flakes (Ka) in pore space; kaolinitized mica (Ł, darker zones – clean kaolinite, lighter – kaolinite with the higher potassium content); IbA – autogenic quartz overgrowth on detrital grain, IbB – different stages of development of quartz outgrowths on detrital grain, IbC – dissolution of quartz grains; IbD – small flakes of kaolinite in the pore spaces of sandstones, IbE – manganese compound on the surface covered by silica, IbF – rosette consist of manganese compounds and kaolinite flakes



Fot. 17. cd.

Phot. 17. cont.

Tabela 7.2

Parametry rozkładu wielkości ziarna dla piaskowców jurajskich z analizowanych złóż

Table 7.2

Grain size distribution parameters of the Jurassic sandstones from the analyzed deposits

Rodzaj skały	Liczba preparatów	$x_{\min}$ [Ø]	$x_{\max}$ [Ø]	$\bar{x}$ [Ø]	GSS (M_z) [Ø]	GSO (σ_1) [Ø]	GSK (Sk_1)	Uziarnienie ¹	Wysortowanie ²	Rodzaj skośności rozkładu ²
Piaskowce jury ogółem	24	1,38–3,27	3,92–5,00	2,54–4,16	2,52–4,18	0,42–0,74	–0,17–0,47	drobnoziarnisty, bardzo drobnoziarnisty, gruboziarnisty pyłowiec	dobre, średnie (umiarkowane)	negatywna–bardzo pozytywna
Piaskowce formacji boruckiej	7	1,38–2,38	4,18–4,92	2,88–3,59	2,86–3,61	0,42–0,63	–0,17–0,47	drobnoziarnisty, bardzo drobnoziarnisty	dobre, średnie (umiarkowane)	negatywna–bardzo pozytywna
Piaskowce formacji ostrowieckiej	13	1,60–3,27	4,18–5,00	2,81–4,16	2,79–4,18	0,44–0,74	–0,05–0,36	drobnoziarnisty, bardzo drobnoziarnisty, gruboziarnisty pyłowiec	dobre, średnie (umiarkowane)	prawie symetryczna–bardzo pozytywna
Piaskowce formacji skłobskiej	4	1,60–2,60	3,92–4,97	2,54–3,66	2,52–3,66	0,48–0,51	0,05–0,34	drobnoziarnisty, bardzo drobnoziarnisty	dobre, średnie (umiarkowane)	prawie symetryczna–bardzo pozytywna

¹ Według podziału Pettijohna i in. (1972), zmodyfikowanego przez Muszyńskiego (2008); ² Według klasyfikacji Folk i Warda (1957).

$x_{\min}$ – wartość minimalna, $x_{\max}$ – wartość maksymalna, $\bar{x}$ – średnia arytmetyczna, Me – mediana, GSS (M_z) – graficzna średnia średnica, GSO (σ_1) – graficzne odchylenie standardowe, GSK (Sk_1) – graficzna skośność (graficzny wskaźnik asymetrii).

Tabela 7.3

Parametry rozkładu wielkości ziarna dla analizowanych odmian piaskowców jurajskich

Table 7.3

Grain size distributions parameters of the analyzed varieties of Jurassic sandstones

Rodzaj skały	Odmiana	Symbol próbki	x_{min} [Ø]	x_{max} [Ø]	$\bar{x}$ [Ø]	GSS (M_z) [Ø]	GSO (σ) [Ø]	GSK (Sk_1)	Uziarnienie ¹	Wysortowanie ²	Rodzaj skośności rozkładu ²
Piaszkowce formacji borowieckiej	IIIb	PI-1	2,38	4,92	3,59	3,61	0,42	0,03	bardzo drobnoziarnisty	dobrze	prawie symetryczna
		D-9	2,38	4,34	2,94	2,98	0,48	0,17	drobnoziarnisty	dobrze	pozytywna
	IIb ¹⁹	D-5	1,65	4,70	2,92	2,91	0,63	0,47	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	bardzo pozytywna
		D-4	1,86	4,18	2,99	2,99	0,52	0,22	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	pozytywna
	Ib ⁹¹	D-11	1,38	4,51	2,99	2,99	0,50	-0,17	drobnoziarnisty	średnie/dobrze	negatywna
		D-3	1,60	4,51	2,88	2,86	0,56	-0,01	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	prawie symetryczna
		D-1	1,73	4,70	2,95	2,95	0,64	0,25	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	pozytywna
Piaszkowce formacji otowieckiej	V ₀	MG-2	1,83	4,18	2,94	2,88	0,46	-0,02	drobnoziarnisty	dobrze	prawie symetryczna
		KR1-2	2,70	4,92	3,91	3,96	0,53	0,10	bardzo drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	prawie symetryczna
		TW1-4	1,67	4,51	2,81	2,79	0,74	0,11	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	pozytywna

Objaśnienia jak w tabeli 7.2.

Tabela 7.3 cd.
Table 7.3 cont.

Rodzaj skały	Odmiana	Symbol próbki	$x_{\min}$ [Ø]	$x_{\max}$ [Ø]	$\bar{x}$ [Ø]	GSS (M_p) [Ø]	GSO (σ_l) [Ø]	GSK (S_{k_l})	Uziarnienie ¹	Wysortowanie ²	Rodzaj skośności rozkładu ²
Piaszkowce Formacji ostrowieckiej	IV _{0b1}	Ż1-9	2,18	4,92	3,62	3,63	0,49	0,36	bardzo drobnoziarnisty	dobrze	bardzo pozytywna
		SII-1	2,26	4,92	3,66	3,68	0,53	-0,05	bardzo drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	prawie symetryczna
		SI-3	3,27	5,00	4,16	4,18	0,46	0,00	gruboziarnisty pyłowiec	dobrze	prawie symetryczna
		SIV-4	3,05	5,00	4,08	4,08	0,44	0,11	gruboziarnisty pyłowiec	dobrze	pozytywna
	III _{0b1}	TWI-2	2,70	5,00	4,04	3,99	0,55	0,12	bardzo drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	pozytywna
		Ż1-1	2,76	5,00	3,90	3,95	0,49	0,10	bardzo drobnoziarnisty	dobrze	prawie symetryczna
		SI-5	2,92	4,92	3,97	3,98	0,45	0,17	bardzo drobnoziarnisty	dobrze	pozytywna
		SIV-2	3,18	5,00	4,01	3,98	0,46	0,17	bardzo drobnoziarnisty	dobrze	pozytywna
	II _{0b1}	SIV-1	3,18	4,92	3,97	3,98	0,45	0,17	bardzo drobnoziarnisty	dobrze	pozytywna
		SI-1	1,60	4,34	2,92	2,99	0,60	0,08	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	prawie symetryczna
Piaszkowce formacji skłobskiej	II _s	W-12	2,60	4,97	3,66	3,66	0,51	0,13	bardzo drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	pozytywna
		W-11	1,81	4,92	2,93	2,90	0,50	0,11	drobnoziarnisty	dobrze	pozytywna
	I _{s1}	W-8	2,08	4,70	3,01	2,98	0,58	0,34	drobnoziarnisty	średnie (umiarkowane)	bardzo pozytywna
		W-4	1,60	3,92	2,54	2,52	0,48	0,05	drobnoziarnisty	dobrze	prawie symetryczna

Objaśnienia jak w tabeli 7.2.

Tabela 7.4

Uziarnienie analizowanych odmian piaskowców jurajskich (mm)

Table 7.4

Grain size of examined varieties of Jurassic sandstones (mm)

Rodzaj skały	Odmiana	Symbol próbki	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	Me
Piaskowce formacji borucickiej	IIIb	PI-1	0,033	0,193	0,087	0,083
	IIb _{bl}	D9	0,050	0,275	0,130	0,149
		D5	0,039	0,319	0,144	0,149
		D4	0,055	0,330	0,135	0,132
	Ib _{bl}	D-11	0,044	0,385	0,135	0,151
		D3	0,044	0,330	0,146	0,138
		D-1	0,039	0,303	0,142	0,138
Piaskowce formacji ostrowieckiej	Vo	MG-2	0,055	0,281	0,137	0,135
		KR1-2	0,033	0,154	0,071	0,067
		TWI-4	0,044	0,314	0,160	0,149
	IVo _{bl}	Ż1-9	0,033	0,220	0,086	0,088
		SII-1	0,033	0,209	0,085	0,077
		SI-3	0,031	0,103	0,059	0,055
		SIV-4	0,031	0,121	0,063	0,061
	IIIo _{bl}	TWI-2	0,031	0,154	0,065	0,062
		Ż1-1	0,031	0,147	0,071	0,066
		SI-5	0,033	0,132	0,067	0,066
	IIo _{bl}	SIV-2	0,031	0,110	0,065	0,066
		SIV-1	0,033	0,110	0,065	0,066
	Io _{bl}	SI-1	0,050	0,330	0,130	0,121
Piaskowce formacji skłobskiej	II _s	W-12	0,031	0,165	0,084	0,081
	Is _{bl}	W-11	0,033	0,286	0,139	0,138
		W-8	0,039	0,237	0,134	0,138
		W-4	0,066	0,330	0,182	0,176

Objaśnienia jak w tabeli 7.2.

Tabela 7.5

Skład petrograficzny piaskowców jurajskich z analizowanych złóż [% obj.]

Table 7.5

Petrographic composition of Jurassic sandstones from the examined deposit [volume percentage]

Rodzaj skały	Liczba preparatów	Szkielet ziarnowy					Spoiwo			
		kwarc	okruchy skał	skalenie	łyżczyłki	mc + gl + so	krzemionkowo-ilasto-żelaziste			suma
							krzemionka regeneracyjna	związki żelaza	pozostałe (mx + il + krz _{neg} + Fe)	węglanowe
Piaskowce jury ogółem	32	64,0–92,1	0,3–4,6	0,0–4,3	0,0–6,8	0,0–2,8	2,8–15,0	0,0–16,6	0,0–8,3	0,0–0,3
Piaskowce formacji boruckiej	7	68,7–85,0	0,3–4,6	0,0–4,3	0,0–3,2	0,0–1,8	3,0–12,6	0,0–16,6	0,0–7,9	–
Piaskowce formacji ostrowieckiej	21	64,0–92,1	0,3–4,0	0,0–1,4	0,0–6,8	0,0–2,8	2,8–15,0	0,0–14,4	0,7–8,3	0,0–0,3
Piaskowce formacji skłobskiej	4	66,0–89,6	0,7–2,5	0,0–1,0	0,3–4,9	0,7–2,2	4,7–12,7	0,0–7,40	0,0–5,4	–
										4,9–25,1

mc – minerały ciężkie, gl – glaukonit, so – substancja organiczna, mx – spoiwo typu matrix, il – spoiwo ilaste, krz_{neg} – spoiwo krzemionkowe inne niż regeneracyjne obwódki kwarcowe, w tym mikrokryształiczna krzemionka i agregaty chalcodonu, Fe – spoiwo żelaziste.

Tabela 7.6

Skład petrograficzny analizowanych odmian piaskowców jurajskich [% obj.]

Table 7.6

Petrographic composition of the analyzed varieties of sandstones [volume percentage]

Rodzaj skały	Odmiana	Szkielet ziarnowy					Spoiwo				Rodzaj skały według Pettijohna (1972)	
		kwarc	okruchy skał	skaleni	łyżczyki	mc + gl + so	krzemionkowo-ilasto-żelaziste			węglanowe		suma
							krzemionka regeneracyjna	związki żelaza	pozostałe (mx + il + krz _{neg} + Fe)			
Piaskowce formacji boruckiej	IIIb	68,7	1,2	–	2,1	1,6	12,4	14,0	–	–	26,4	arenit kwarcowy
	IIb ^q	76,4–85,0	0,3–1,6	0,7–2,8	0,0–0,6	0,3–0,7	8,7–12,6	0,0–9,3	0,0–1,1	–	12,6–18,0	arenit kwarcowy
	IIb ^q	69,4–76,8	0,6–4,6	0,0–4,3	0,3–3,2	0,0–1,8	3,0–6,9	2,1–18,6	0,0–7,9	–	12,1–25,5	arenit kwarcowy, arenit subilityczny
Piaskowce formacji ostrowieckiej	Vo	70,1–82,6	0,3–2,0	0,0–0,6	0,0–2,7	0,0–1,4	6,1–13,5	1,6–14,4	2,5–8,2	–	15,2–24,6	arenit kwarcowy
	IVo ^q	68,3–92,1	1,4–3,1	0,0–0,7	0,4–6,8	0,3–2,8	2,8–14,2	0,0–3,8	0,9–8,3	–	4,2–22,0	arenit kwarcowy, arenit subilityczny
	IIIo ^q	81,1–87,8	1,1–1,8	0,4–1,4	0,4–2,4	0,7–2,1	5,7–15,0	0,0–1,3	0,7–3,3	–	6,7–15,7	arenit kwarcowy
Piaskowce formacji ostrowieckiej	IIo ^q	64,0–76,6	1,7–3,1	0,0–0,4	4,1–4,6	1,9–2,1	6,1–7,3	3,8–14,3	4,1–5,6	0,0–0,3	15,2–26,0	arenit subilityczny
	Io ^q	71,4–77,3	3,2–4,0	0,6–1,4	0,6–2,4	0,3–2,2	7,9–10,6	0,0–6,0	4,8–7,3	–	15,4–23,9	arenit kwarcowy, arenit subilityczny
	II ^s	66,0	1,9	0,5	4,9	1,6	12,7	7,0	5,4	–	25,1	arenit subilityczny
Piaskowce formacji skłobskiej	Is ^q	78,8–89,6	0,7–2,5	0,0–1,1	0,3–1,8	0,7–2,2	4,7–7,8	0,0–7,4	0,0–4,5	–	4,9–18,4	arenit kwarcowy

Objaśnienia jak w tabeli 7.5.

7.4. Właściwości fizyczno-mechaniczne

Badane próbki piaskowców jurajskich z analizowanych złóż wykazują **gęstość objętościową** (ρ_0) z przedziału między 1,95 a 2,24 Mg/m³ (średnio 2,07 Mg/m³). Niewielkie zróżnicowanie analizowanego parametru znajduje wyraz w niskich wartościach odchylenia standardowego (0,06 Mg/m³) oraz współczynnika zmienności (2,71%; mała zmienność*). Przedstawione na histogramach rozkłady gęstości (rys. 7.2) są jednomodalne, a większość wyników grupuje się w przedziale od 2,0 do 2,1 Mg/m³ (63%).

Nasiąkliwość wagowa (N_w) badanych próbek zmienia się od 4,87 do 9,03%, średnio wynosząc 7,00% (tab. 7.7), a **nasiąkliwość objętościowa** (N_o) kształtuje się na poziomie 10,81–17,61% (średnia wartość 14,45%), przy większej zmienności badanego parametru w stosunku do gęstości objętościowej, wyrażonej wartością odchylenia standardowego odpowiednio 0,86 i 1,47% oraz współczynnika zmienności 12,25 i 10,16% (tab. 7.7). Najliczniejsze przedziały na histogramach rozkładu nasiąkliwości wagowej i objętościowej to odpowiednio 7–9% (55% wyników) oraz 14–17% (65% wyników; rys. 7.2).

Wytrzymałość na ściskanie badanych próbek w stanie powietrzno-suchym (R_{cs}) wykazuje fluktuacje między 15,43 a 68,98 MPa (średnia wartość 41,41 MPa), przy wysokim odchyleniu standardowym (12,71 MPa) i najwyższym spośród analizowanych parametrów fizyczno-mechanicznych współczynnika zmienności (30,68%; przeciętna zmienność). Wyniki oznaczeń dla większości próbek, przedstawione na histogramie (rys. 7.2), zawierają się w przedziale od 40 do 50 MPa (48%).

Zgodnie z normą PN-84/B-01080 badane próbki piaskowców jurajskich zaliczone zostały na ogół do skał średnio ciężkich, średnio nasiąkliwych, o małej wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym. Dodatkowo jedną próbkę piaskowców formacji skłobskiej zaklasyfikowano do skał ciężkich, trzy próbki piaskowców formacji skłobskiej do skał mało nasiąkliwych, a cztery próbki piaskowców różnych formacji litostratygraficznych do skał o średniej wytrzymałości.

Szeroki zakres zmienności wykazują wyniki przeprowadzonych badań ultradźwiękowych (tab. 7.7). **Prędkość propagacji fali podłużnej** dla próbek suchych w kierunku prostopadłym do uławicenia ($V_{ps\perp}$) zmienia się od 1362 do 3953 m/s, ze średnią 2482 m/s (tab. 7.7). W kierunku zgodnym z uławiceniem analizowany parametr ($V_{ps\parallel}$) przyjmuje na ogół wyższe wartości, wahając się między 1516 a 3783 m/s, (średnia wartość 2644 m/s). Współczynniki zmienności są zbliżone i wynoszą odpowiednio 25,0 i 25,4% (przeciętna zmienność), podobnie jak wartości odchylenia standardowego (tab. 7.7). Współczynnik anizotropii A dla próbek suchych zmienia się od 0,763 do 1,137 (średnia wartość 0,942). Pomiar ultradźwiękowy na próbkach nasyconych wodą, w której fala podłużna rozchodzi się znacznie szybciej niż w powietrzu, wykazały w zależności od kierunku pomiaru średnio kilkuprocentowy spadek lub wzrost prędkości w porównaniu do próbek suchych. W kierunku prostopadłym do uławicenia prędkość propagacji fali podłużnej ($V_{pm\perp}$) przyjmuje wartości

* Klasyfikacja zmienności złóż według Muchy (1994).

z zakresu 1075–4147 m/s, ze średnią 2759 m/s, a w kierunku z nim zgodnym (V_{pmII}) waha się między 1158 a 4129 m/s, ze średnią 2798 m/s. Współczynniki zmienności w obydwu przypadkach wynoszą po 27,7% (przeciętna zmienność), podobnie jak wartości odchylenia standardowego (tab. 7.7). Współczynnik anizotropii A dla próbek nasyconych wodą zmienia się od 0,946 do 1,319 (średnia wartość 1,016). Wskaźnik zmiany prędkości B wykazuje fluktuacje w szerokim zakresie, między –32,30% a 25,21% w kierunku prostopadłym do uławicenia oraz od –44,34% do 12,68% w kierunku z nim zgodnym (tab. 7.7).

Na histogramach rozkładu prędkości fali podłużnej największa liczba oznaczeń zawiera się w przedziałach: 1600–3200 m/s (83%) dla próbek suchych w kierunku prostopadłym do uławicenia, 1600–3600 m/s (84%) dla próbek suchych w kierunku zgodnym z uławiceniem, 1600–2000 m/s i 2400–4000 m/s (łącznie 82%) dla próbek nasyconych wodą w kierunku prostopadłym do uławicenia i 2000–4000 m/s (82%) dla próbek nasyconych wodą w kierunku zgodnym z uławiceniem (rys. 7.2).

Piaskowce formacji skłobskiej

W piaskowcach formacji skłobskiej średnia wartość gęstości objętościowej kształtuje się na poziomie 2,09 Mg/m³, przy zakresie zmienności od 1,97 do 2,24 Mg/m³ (tab. 7.7). Nasiąkliwość wagowa zmienia się od 4,87 do 7,99% (wartość średnia 6,78%), a nasiąkliwość objętościowa od 10,81 do 16,23% (wartość średnia 14,09%). Wytrzymałość na ściskanie zawiera się w granicach 15,43–62,63 MPa, przy najniższej wśród piaskowców jurajskich średniej arytmetycznej (37,06 MPa) i medianie (40,64 MPa, tab. 7.7). Prędkość fali podłużnej również kształtuje się w niższych zakresach wartości notowanych dla piaskowców jurajskich, w tym dla próbek suchych w kierunku prostopadłym do uławicenia ($V_{ps\perp}$) od 1362 do 3317 m/s (średnio 2103 m/s), a w kierunku z nim zgodnym (V_{pmII}) od 1516 do 3486 m/s (średnio 2187 m/s). Po nasyceniu próbek wodą wartość V_{pmII} zmienia się w zakresie od 1306 do 3531 m/s (wartość średnia 2364 m/s), a V_{pmII} od 1169 do 3712 m/s (wartość średnia 2370 m/s). Współczynnik anizotropii A dla próbek suchych wynosi średnio 0,970, a dla próbek mokrych – 0,986. Wartość wskaźnika zmiany prędkości B, wskazuje na spadek prędkości fali podłużnej po nasyceniu próbek wodą, średnio o 1,33% dla kierunku prostopadłego do uławicenia skały i o 7,24% dla kierunku z nim zgodnego.

Spośród dwóch badanych odmian piaskowców formacji skłobskiej słabsze wyniki analizowanych parametrów uzyskano dla skał blocznych **odmiany Is_{bl}** o średniej gęstości objętościowej 2,05 Mg/m³, nasiąkliwości wagowej i objętościowej odpowiednio 7,30 i 14,97% oraz znacznie niższej od przeciętnej dla piaskowców jurajskich wartości wytrzymałości na ściskanie (31,59 MPa). Średnia prędkość fali podłużnej dla próbek suchych (1806 m/s w kierunku prostopadłym do uławicenia i 1845 m/s w kierunku zgodnym z uławiceniem) i nasyconych wodą (1897 m/s w kierunku prostopadłym do uławicenia i 1793 m/s w kierunku zgodnym z uławiceniem) jest jedną z najniższych notowanych wśród analizowanych odmian piaskowców jurajskich. Wyniki pomiarów uzyskane dla dwóch wzajemnie prostopadłych kierunków najczęściej nie odbiegają znacząco od siebie (średnia wartość współczynnika A dla próbek suchych 0,98, dla próbek nasyconych wodą 0,94), świadcząc

Tabela 7.7 cd.
Table 7.7 cont.

Parametr statystyczny	Gęstość obj. ρ_o [Mg/m ³]	Nasiąkliwość wag. N_w [%]	Nasiąkliwość obj. N_o [%]	Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno- suchym RC_s [MPa]	Prędkość fali podłużnej V_p [m/s], współczynnik anizotropii A						Wskaźnik zmiany prędkości B	
					w stanie powietrzno-suchym			po nasyceniu H ₂ O			$B_{\perp}$ (%)	$B_{\parallel}$ (%)
					$V_{ps\perp}$	$V_{ps\parallel}$	A	$V_{pm\perp}$	$V_{pm\parallel}$	A		
Piaszkowce formacji ostrowieckiej												
x_{min}	1,95	5,66	12,05	19,12	1 587	1 648	0,763	1 075	1 158	0,796	-32,30	-44,34
x_{max}	2,19	9,03	17,61	66,05	3 446	3 779	1,137	3 874	3 869	1,319	15,45	9,21
$\bar{x}$	2,06	7,07	14,53	43,34	2 326	2 779	0,935	2 779	2 825	1,028	1,71	-4,64
σ	0,05	0,85	1,41	11,22	482,90	522,89	0,07	705,81	660,02	0,106	11,15	11,30
v [%]	2,63	11,97	9,69	25,89	20,76	18,81	7,98	25,40	23,37	10,28	65,36	-243,82
Me	2,06	6,98	14,43	46,12	2 597	2 783	0,936	2 911	2 870	1,010	5,21	-1,01
n	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Piaszkowce formacji skłobskiej												
x_{min}	1,97	4,87	10,81	15,43	1 362	1 516	0,894	1 306	1 169	0,894	-17,23	-25,93
x_{max}	2,24	7,99	16,23	62,63	3 317	3 486	1,062	3 531	3 712	1,110	6,46	6,95
$\bar{x}$	2,09	6,78	14,09	37,06	2 103	2 187	0,970	2 364	2 370	0,986	-1,33	-7,24
σ	0,08	1,05	1,86	14,78	642,08	731,79	0,06	769,27	919,51	0,07	7,11	10,66
v [%]	3,59	15,53	13,17	39,89	30,53	33,46	5,92	32,54	38,80	7,58	-5,34	-147,29
Me	2,07	7,17	14,68	40,64	1 934	1 989	0,953	2 179	2 069	0,986	1,37	-9,49
n	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Objaśnienia: x_{min} – wartość minimalna, x_{max} – wartość maksymalna, $\bar{x}$ – średnia arytmetyczna, σ – odchylenie standardowe, v – współczynnik zmienności, Me – mediana, n – liczba próbek.

o słabej anizotropii skały. W przypadku pojedynczych próbek różnice mogą jednak sięgać nawet 10–11%, wskazując na ogół na większe tłumienie fali w kierunku prostopadłym do uławicenia. W piaskowcach analizowanej odmiany wskaźnik B przyjmuje zwykle wartości ujemne (tab. 7.8). Notowany spadek prędkości propagacji fali po nasyceniu wodą wynosi w zależności od kierunku pomiaru średnio 3,6 lub 12,0% (tab. 7.8), a dla pojedynczych próbek może sięgać maksymalnie nawet 25,9%.

Korzystniejsze parametry, w tym większą gęstość objętościową (średnio $2,21 \text{ Mg/m}^3$) i wytrzymałość na ściskanie (średnio 54,40%) oraz mniejszą nasiąkliwość wagową (4,90%) i objętościową (10,85%) wykazują piaskowce cienko- i średnioławicowe (niebłoczne) odmiany IIs. Jako jedyne spośród analizowanych piaskowców jurajskich zaklasyfikowane zostały do grupy skał mało nasiąkliwych (nasiąkliwość wagowa poniżej 5%), odznaczających się jednocześnie najwyższą gęstością objętościową. Prędkość fali podłużnej zarówno dla próbek suchych, jak też nasyconych wodą, jest znacząco wyższa (średnia wartość $V_{ps\perp}$ 3192 m/s, V_{psII} 3443 m/s, $V_{pm\perp}$ 3297 m/s oraz V_{pmII} 3522 m/s) w stosunku do piaskowców błocznych odmiany Is_{bl}. Piaskowce wykazują słabą kierunkową anizotropię, a średnia wartość wskaźnika A wynosi 0,93 dla próbek suchych i 1,07 dla próbek nasyconych wodą. Wyniki oznaczeń wskaźnika B prezentują wzrost prędkości fali po nasyceniu wodą w kierunku prostopadłym do uławicenia (średnio 3,3%).

Piaskowce formacji ostrowieckiej

Gęstość objętościowa piaskowców formacji ostrowieckiej kształtuje się w przedziale od 1,95 do $2,19 \text{ Mg/m}^3$, średnio $2,06 \text{ Mg/m}^3$. Nasiąkliwość wagowa badanych próbek waha się między 5,66 a 9,03%, a jej średnia wartość wynosi 7,07%, przy nieco niższej medianie (tab. 7.7). Nasiąkliwość objętościowa kształtuje się na dwukrotnie wyższym poziomie (12,05–17,61%, średnio 14,53%). Wytrzymałość na ściskanie analizowanych próbek zmienia się od 19,12 do 66,05 MPa, ze średnią 43,34 MPa (tab. 7.7). Wyniki badań ultradźwiękowych wykazują znaczne zróżnicowanie (tab. 7.7). Na podstawie pomiarów prędkości propagacji fali podłużnej na próbkach suchych w kierunku prostopadłym do uławicenia skały ustalono, iż wartość tego parametru w analizowanych piaskowcach zmienia się od 1587 do 3446 m/s, średnio wynosząc 2326 m/s (tab. 7.7). W kierunku równoległym uzyskano wartości średnio o 6% wyższe (tab. 7.7). Współczynniki zmienności wynoszą odpowiednio 21 i 19%. Po nasyceniu próbek wodą stwierdzono średnio 1,7-procentowy wzrost prędkości fali w kierunku prostopadłym do uławicenia i 4,6% spadek w kierunku równoległym (tab. 7.7).

Spośród pięciu wyróżnionych odmian piaskowców formacji ostrowieckiej najniższe wartości gęstości pozornej notowane są dla piaskowców błocznych odmian Io_{bl} i IIo_{bl} (średnio $2,01$ i $2,00 \text{ Mg/m}^3$), pośrednie dla piaskowców błocznych odmiany IIIo_{bl} i IVo_{bl} ($2,06$ i $2,05 \text{ Mg/m}^3$), a najwyższe dla piaskowców cienko- i średnioławicowych (niebłocznych) odmiany Vo ($2,13 \text{ Mg/m}^3$, tab. 7.8). Dwie pierwsze spośród wymienionych odmian charakteryzują się ponadto największą nasiąkliwością wagową (średnio 7,95 i 8,12%) i objętościową (średnio 16,29 i 15,94%). Mniejszą nasiąkliwość wykazują piaskowce odmian błocznych IIIo_{bl} i IVo_{bl} (średnia nasiąkliwość wagowa odpowiednio 6,89 i 7,21%,

Tabela 7.8

Właściwości fizyczno-mechaniczne analizowanych odmian piaskowców jurajskich

Table 7.8

Physico-mechanical properties of examined varieties of Jurassic sandstones

Formacja	Odmiana	Gęstość obj. ρ_o [Mg/m ³]	Nasiąkliwość wagowa N_w [%]		Nasiąkliwość objętościowa N_o [%]	Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym R_{cs} [MPa]	Prędkość fali podłużnej V_p [m/s], współczynnik anizotropii A						Wskaźnik zmiany prędkości B		
			od-do	śr.			w stanie powietrzno-suchym			po nasyceniu H ₂ O			B_L (%)	B_{II} (%)	
							V_{psL}	V_{psII}	A	V_{pmL}	V_{pmII}	A			
															od-do
Piaskowce formacji boruckiej	IIIb	2,05	7,14	14,64	68,98	śr.	śr.	śr.	śr.	śr.	śr.	śr.	śr.	śr.	śr.
		2,04–2,14	5,70–7,61	12,17–15,56	27,14–52,38	2 527	2 699	0,94	2 658	2 701	1,02	5,15	0,08		
	III ^q II	2,08	6,84	14,22	43,39	2 210–3 953	2 352–3 783	0,85–1,07	2 644–4 147	2 501–4 129	0,95–1,06	4,06–25,21	1,21–12,69		
		2,04–2,05	7,32–7,63	15,05–15,59	19,44–28,08	3 040	3 207	0,95	3 487	3 542	1,01	11,45	6,69		
	II ^q II	2,05	7,51	15,38	23,95	1 645–1 848	1 782–2 058	0,90–0,92	1 682–1 819	1 725–1 753	0,95–1,04	2,25–10,57	–4,19–(–3,19)		
Piaskowce formacji ostrowieckiej	V _o	2,09–2,15	5,66–7,03	12,05–15,32	27,73–66,05	1 737	1 917	0,91	1 750	1 739	1,00	6,41	–3,69		
		2,13	6,32	12,76	43,13	1 861–3 129	2 283–3 209	0,80–1,04	1 703–3 305	2 083–3 312	0,80–1,22	–8,5–15,5	–10,3–9,2		
	I ^q IV	1,95–2,14	6,07–9,03	12,85–17,61	26,23–52,46	2 616	2 710	0,96	2 789	2 017	0,96	6,14	–2,25		
		2,05	7,21	14,71	42,12	2 139–3 157	2 071–3 459	0,85–1,03	2 639–3 350	2 661–3 425	0,97–1,18	–0,74–8,04	–4,41–2,56		
	III ^q III	2,03–2,08	6,31–7,55	13,11–15,32	19,12–65,03	2 720	2 904	0,94	3 010	3 076	1,03	4,37	–0,26		
Piaskowce formacji ostrowieckiej	II ^q III	2,06	6,89	14,20	46,49	2 080–3 446	2 074–3 779	0,88–1,00	2 323–3 639	2 304–3 869	0,94–1,08	0,89–11,30	–6,14–3,07		
		1,98–2,03	7,57–8,47	15,38–16,77	21,00–45,84	2 820	3 054	0,93	3 101	3 179	1,02	6,36	–0,79		
	I ^q II	2,00	7,95	15,94	31,21	1 587–2 058	1 992–2 097	0,76–0,98	1 075–1 887	1 158–1 819	0,96–1,21	–32,30–(–8,33)	–44,34–(–13,27)		
		1,98–2,03	7,63–8,61	15,54–17,04	48,70–48,90	1 764	2 057	0,86	1 425	1 524	1,09	–20,28	–25,87		
	I ^q II	2,01	8,12	16,29	48,80	2 044–2 206	2 356–2 520	0,81–0,94	1 776–1 847	2 047–2 342	1,11–1,32	–16,27–(–13,11)	–13,14–(–7,03)		
Piaskowce formacji skłobskiej	II ^q II	2,20–2,24	4,87–4,93	10,81–10,90	41,78–62,63	2 125	2 438	0,87	1 812	2 195	1,21	–14,69	–10,08		
		2,21	4,90	10,85	54,40	3 117–3 317	3 371–3 486	0,89–0,96	3 160–3 532	3 348–3 712	1,05–1,11	1,37–6,46	–0,67–6,95		
	I ^q II	1,97–2,09	6,94–7,99	13,66–16,23	15,4–45,6	3 192	3 443	0,93	3 297	3 522	1,07	3,25	2,30		
Piaskowce formacji skłobskiej	I ^q II	2,05	7,30	14,97	31,59	1 362–2 239	1 516–2 285	0,90–1,06	1 306–2 231	1 169–2 193	0,89–1,01	–17,22–5,23	–25,93–4,01		
						1 806	1 845	0,98	1 897	1 793	0,94	–3,62	–12,00		

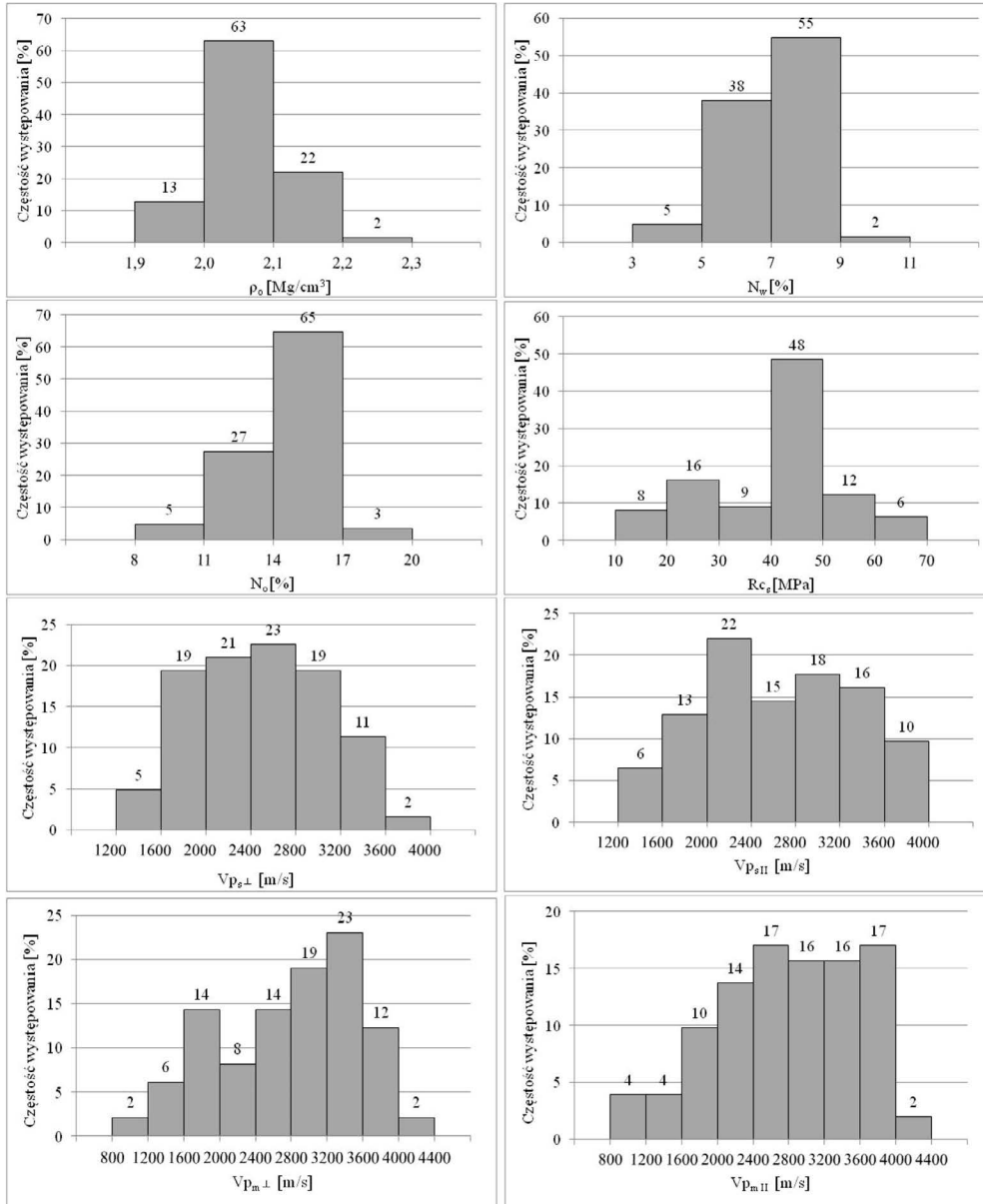


Fig. 7.2. Rozkład gęstości pozornej (ρ_0), nasiąkliwości wagowej (N_w) i objętościowej (N_o), wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym (R_{cs}) oraz prędkości fali podłużnej w stanie powietrzno-suchym ($V_{ps\perp}$ i $V_{ps\parallel}$ – w kierunku prostopadłym i równoległym do uławicenia) i w nasyceniu wodą ($V_{pm\perp}$ i $V_{pm\parallel}$ – j.w.) w piaskowcach z analizowanych złóż

Fig. 7.2. Distributions of apparent density (ρ_0), water absorption in reference to rock weight (N_w), water absorption in reference to rock volume (N_o), compressive strength in air-dry conditions (R_{cs}) and longitudinal wave velocity in air-dry conditions ($V_{ps\perp}$ and $V_{ps\parallel}$ – in the direction perpendicular and parallel to bedding) and in water saturated samples ($V_{pm\perp}$ and $V_{pm\parallel}$ – as above) in sandstones from examined deposits

objętościowa 14,20 i 14,71%), a najmniejszą skały odmiany Vo (średnio 6,32 i 12,76%). W górnych zakresach uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie plasują się piaskowce odmian blocznych Io_{bl} (średnio 48,80 MPa), $IIIo_{bl}$ (46,49 MPa) i IVo_{bl} (42,12 MPa). Na najniższym poziomie kształtuje się natomiast wytrzymałość wielobarwnych, laminowanych piaskowców odmiany IIo_{bl} (średnio 31,21 MPa). Wyniki oznaczeń tego parametru dla cienko- i średnioławicowych piaskowców odmiany Vo (średnio 43,13 MPa) w zależności od miejsca pochodzenia próbek wykazują znaczne zróżnicowanie. Największą wytrzymałością charakteryzują się skały ze złoża Tresta Wesoła I i -IV oraz Mroczków Gościnnny-2 i -6, najmniejszą piaskowce ze złoża Kraszków-1.

Pomiary ultradźwiękowe wykazały znaczne zróżnicowanie prędkości fali podłużnej w poszczególnych odmianach piaskowców formacji ostrowieckiej. Najwyższe wartości uzyskano dla skał odmiany $IIIo_{bl}$ (średnia wartość $V_{ps\perp}$ 2820 m/s, $V_{ps\parallel}$ 3054 m/s, $V_{pm\perp}$ 3101 m/s oraz $V_{pm\parallel}$ 3179 m/s), nieznacznie niższe dla odmiany IVo_{bl} , a najniższe dla odmian Io_{bl} i IIo_{bl} (średnia wartość $V_{ps\perp}$ 1764 m/s, $V_{ps\parallel}$ 2057 m/s, $V_{pm\perp}$ 1425 m/s oraz $V_{pm\parallel}$ 1524 m/s). W przypadku piaskowców cienko i średnioławicowych odmiany Vo obserwowane jest zróżnicowanie prędkości fali podłużnej dla próbek z poszczególnych złóż. Spośród piaskowców tej odmiany wysokie prędkości uzyskano dla skał ze złoża Tresta Wesoła I (maksymalnie 3312 m/s $V_{pm\parallel}$), a także dla próbki piaskowców ze złoża Kraszków-1 z koncentracją związków żelaza w formie „żyłek” (3305 m/s $V_{pm\perp}$), najniższe dla piaskowców ze złoża Tresta Wesoła IV (minimalna prędkość 1703 $V_{pm\perp}$). Dla próbek suchych największe różnice prędkości w zależności od kierunku pomiaru stwierdzono w piaskowcach odmiany Io_{bl} i IIo_{bl} (wzrost w kierunku zgodnym z uławiceniem średnio o około 13 i 14%), najmniejsze w piaskowcach odmiany $IIIo_{bl}$, IVo_{bl} i Vo (wzrost średnio o około 4–7%). Badania próbek nasyconych wodą wykazały znaczący spadek prędkości w piaskowcach odmiany Io_{bl} (średnio o 14,69% w kierunku prostopadłym do uławicenia i 10,08% w kierunku równoległym) i IIo_{bl} (średnio o 20,28% w kierunku prostopadłym do uławicenia i 25,87% w kierunku równoległym). Kilkoprocentowym wzrostem prędkości (średnio 4,37–6,36%) w kierunku prostopadłym do uławicenia skały charakteryzują się natomiast piaskowce odmian $IIIo_{bl}$, IVo_{bl} i Vo. Prędkości fali podłużnej dla próbek nasyconych wodą są na ogół wyższe (średnio o kilka procent) w kierunku prostopadłym do uławicenia skały.

Piaskowce formacji borucickiej

W piaskowcach formacji borucickiej gęstość objętościowa zmienia się w wąskim przedziale, od 2,04 do 2,14 Mg/m³ (średnia wartość 2,07 Mg/m³), przy współczynniku zmienności zaledwie 1,54% i odchyleniu standardowym 0,03 Mg/m³ (tab. 7.7). Nasiąkliwość wagowa badanych próbek waha się od 5,70% do 7,63% (średnia wartość 7,07%), a nasiąkliwość objętościowa od 12,17 do 15,59%, (średnia wartość 14,61%). Wytrzymałość na ściskanie zawiera się w granicach 19,44–68,98 MPa (średnio 40,91 MPa), a współczynnik zmienności dla tego parametru wynosi 34,04% (przeciętna zmienność). Prędkość fali podłużnej dla próbek suchych wykazuje fluktuacje między 1645 a 3953 m/s (średnia wartość 2600 m/s) dla kierunku prostopadłego do uławicenia skały i między 1782 i 383 m/s (średnia wartość

2771 m/s) dla kierunku z nim zgodnego. Prędkość fali podłużnej dla próbek nasyconych wodą jest na ogół wyższa, kształtując się na poziomie między 1682 a 4147 m/s (średnio 3057 m/s) dla kierunku prostopadłego do uławicenia skały oraz między 1725 i 4129 m/s (średnio 3097 m/s) dla kierunku równoległego. Wartość współczynnika anizotropii A dla próbek suchych wynosi 0,934, a dla próbek nasyconych wodą – 1,010, natomiast średni wskaźnik zmiany prędkości B jest dodatni niezależnie od kierunku pomiaru.

Spośród badanych odmian piaskowców formacji borucickiej najkorzystniejsze parametry wykazują bloczne piaskowce odmiany IIb_{bl} i cienkoławicowe piaskowce odmiany IIIb. Pierwsza z nich charakteryzuje się gęstością objętościową średnio 2,08 Mg/m³, nasiąkliwością wagową średnio 6,84%, nasiąkliwością objętościową średnio 14,22% i wytrzymałością na ściskanie średnio 42,12 MPa. Piaskowce tej odmiany wykazują jedne z najwyższych prędkości fali podłużnej (powyżej 3000 m/s) notowane dla badanych w pracy piaskowców jurajskich. Wyniki oznaczeń dla próbek suchych wynoszą średnio 3040 m/s dla $V_{ps\perp}$ i 3207 m/s dla V_{psII} . Próbki nasycone wodą wykazują jeszcze wyższe prędkości, w tym średnio 3487 m/s dla $V_{pm\perp}$ oraz średnio 3542 m/s dla V_{pmII} . Wartość wskaźnika B wynosi w zależności od kierunku pomiaru 6,69 i 11,45%, maksymalnie sięgając 25,21% (tab. 7.8)

Piaskowce odmiany IIIb charakteryzują się najwyższą spośród piaskowców jurajskich wytrzymałością na ściskanie (68,98 MPa), przy średniej gęstości objętościowej 2,05 Mg/m³, nasiąkliwości wagowej 7,14% i nasiąkliwości objętościowej 14,64%. Oznaczone dla nich wartości prędkości fali podłużnej są wyższe dla kierunku zgodnego z uławiceniem (V_{psII} średnio 2699 m/s, V_{pmII} średnio 2701 m/s) niż mierzone prostopadle do niego ($V_{ps\perp}$ średnio 2527 m/s, $V_{pm\perp}$ średnio 2658 m/s). Wartość współczynnika A dla próbek suchych wynosi średnio 0,94, a dla nasyconych wodą średnio 1,02, świadcząc o słabej kierunkowej anizotropii. Wzrost prędkości fali po nasyceniu wodą jest na ogół nieznaczny i w zależności od kierunku pomiaru wynosi 0,08% i 5,15%.

Najslabsze właściwości fizyczno-mechaniczne, w tym najniższą dla badanych próbek piaskowców jurajskich wytrzymałość na ściskanie (średnio 23,25 MPa) oraz niskie prędkości fali podłużnej (średnia wartość $V_{ps\perp}$ 1737 m/s, V_{psII} 1917 m/s, $V_{pm\perp}$ 1750 m/s oraz V_{pmII} 1739 m/s) wykazują bloczne piaskowce odmiany IIb_{bl}. Średnia wartość oznaczonej dla nich gęstości objętościowej to 2,05 Mg/m³, a nasiąkliwości wagowej i objętościowej odpowiednio 7,51 i 15,38%. Wartość wskaźnika zmiany prędkości B wynosi średnio 6,41% w kierunku prostopadłym do uławicenia i –3,69% w kierunku do niego zgodnym.

8. Interpretacja wyników badań

8.1. Wpływ warunków sedymentacji i wykształcenia litologicznego na możliwości wykorzystania piaskowców jako kamieni architektonicznych

Opublikowane w ostatnich latach wyniki badań Pieńkowskiego (2004, 2006), a ponadto Złonkiewicza (2006, 2013) dostarczyły nowych danych na temat warunków depozycji osadów jury dolnej na analizowanym obszarze. Pozwoliło to na zestawienie informacji dla ośmiu spośród dziesięciu wyróżnionych w pracy odmian piaskowców, w tym dla wszystkich (siedmiu) odmian blocznych (Is_{bl} – piaskowce jurajskie formacji skłobskiej, Io_{bl} IIo_{bl} , $IIIo_{bl}$, IVo_{bl} – piaskowce jurajskie formacji ostrowieckiej, Ib_{bl} , IIb_{bl} – piaskowce jurajskie formacji borucickiej) z 10 analizowanych złóż. Dla piaskowców cienkoławicowych dostępność danych była zdecydowanie mniejsza. Spośród trzech wyróżnionych w pracy odmian (z ośmiu analizowanych złóż), reprezentujących różne poziomy stratygraficzne dolnej jury, informacje pozyskano dla piaskowców formacji skłobskiej odmiany IIs oraz częściowo dla piaskowców formacji ostrowieckiej odmiany Vo (z wybranych złóż). Dla pozostałych złóż piaskowców formacji ostrowieckiej odmiany Vo (złoża Kraszków-1, Mroczków Gościnnny-2 i Mroczków Gościnnny-6) oraz piaskowców formacji borucickiej odmiany $IIIb$ brak jednoznacznych danych na temat środowiska sedymentacji. W niektórych przypadkach niewielkie rozmiary wyrobisk (Pilichowice I, Kraszków-1) i odsłoniętych w nich części profilu złożowego nie stanowią również wystarczającej przesłanki do wyciągnięcia wniosków genetycznych. Informacje na temat warunków powstawania piaskowców z analizowanych w pracy złóż zestawiono oddzielnie dla odmian gruboławicowych – blocznych i cienkoławicowych, ze względu na ich zróżnicowaną przydatność jako kamieni architektonicznych.

Analizowany w pracy obszar badań położony jest w marginalnej strefie dolnojurajskiego zbiornika sedymentacyjnego, cechującej się wielokrotnym następstwem osadów morskich i lądowych. Czasoprzestrzenna ewolucja tego zbiornika, przedstawiona w pracy Pieńkowskiego (2004) w podziale na sekwencje depozycyjne, wskazuje, iż akumulacja osadów formacji skłobskiej, ostrowieckiej oraz borucickiej w rejonie badań związana była z subsystemami depozycyjnymi: rzek meandrujących, bagiennym, deltowym, lagunowym, barierowym, brzegowym, przybrzeżnym, a lokalnie nawet z otwartą częścią zbiornika brakiczno-morskiego.

Piaskowce odmian blocznych

Wyróżnione w pracy odmiany piaskowców blocznych zaliczono do następujących środowisk sedymentacyjnych:

- deltowe (środowisko lądowo-morskie) – piaskowce jurajskie formacji borucickiej odmian Ib_{bl} i Ib_{bl} ;
- szelfowe silikoklastyczne płytsze/brzegowe (środowisko morskie i lądowo-morskie), w tym:
 - przybrzeże i częściowo brzegowe – piaskowce jurajskie formacji skłobskiej odmiany Is_{bl} ;
 - górne (płytsze)/środkowe przybrzeże – piaskowce jurajskie formacji ostrowieckiej odmiany Io_{bl} ;
 - środkowe/dolne (głębsze) przybrzeże – piaskowce dolnojurajskie formacji ostrowieckiej odmiany IIo_{bl} , odmiany $IIIo_{bl}$ oraz odmiany IVo_{bl} .

Przeprowadzone badania terenowe wykazały, iż piaskowce wyróżnionych odmian wykazują wiele cech wspólnych związanych z warunkami depozycji (tab. 8.1).

Piaskowce deltowe odmiany Ib_{bl} i Ib_{bl} charakteryzują się regularnym uławiceniem, a miąższość ławic (maksymalnie około 1,5 m) na odcinku kilkudziesięciu metrów wykazuje tylko nieznaczne wahania. Powierzchnia stropowa i spągowa ławic jest najczęściej płaska i równa, rzadziej pokryta drobnymi riplemarkami. Przy korzystnym układzie spękań takie wykształcenie skały zapewnia odpowiednie warunki dla pozyskiwania bloków, ograniczając straty urobku na etapie obróbki kopaliny. Piaskowce te cechuje znaczna zmienność teksturalna (laminacja przekątna, płaska, warstwowanie soczewkowe), związana z akumulacją osadów czoła delty w środowisku o umiarkowanie wysokiej energii (Tonkin 2012), na przemian w warunkach oddziaływania prądów i falowania. Zgodnie z wynikami badań Pieńkowskiego (2004) aktywność pływów w basenie sedymentacyjnym dolnej jury nie była znacząca, stąd też delty o dominującym oddziaływaniu pływów nie występują na analizowanym obszarze badań. Złożona budowa wewnętrzna ławic powoduje, iż pozyskiwany materiał skalny wykazuje często dużą niejednorodność. Niekorzystny wpływ na możliwości gospodarczego wykorzystania ma obecność nagromadzeń składników najdrobniejszych frakcji, które w trakcie obróbki mechanicznej skały (cięcia skały na płyty) są wypłukiwane wraz z większymi, słabiej związanymi ziarnami, pozostawiając makroskopowo widoczne puste przestrzenie. Nagromadzenia te obserwowane są przede wszystkim w piaskowcach o laminacji typu riplemarków wstępujących i warstwowanych soczewkowo. Stanowią one zarazem płaszczyzny nieciągłości, wzdłuż których często następuje rozwarstwianie skały. Spośród cech litologicznych niezwiązanych z warunkami sedymentacji, niekorzystne dla możliwości gospodarczego wykorzystania analizowanych piaskowców są obserwowane przejawy zaawansowanych zjawisk wietrzeniowych, skutkujące znacznym ograniczeniem zwięzłości skały. Z drugiej strony w stropie, a także w obrębie piaskowcowych ławic obecne są wkładki z nagromadzeniem związków żelaza tworzących ciągle horyzonty lub występujących w postaci żyłek, silnie cementujących skałę. Znaczne zróżnicowanie stopnia zwięzłości powoduje trudności w obróbce i cięciu tych odmian piaskowców, stąd też część kopaliny

staje się nieprzydatna do produkcji płyt okładzinowych. Efektem zjawisk wietrzeniowych są również obecne w skale pierścienie Lieseganga, dodające piaskowcom atrakcyjności wizualnej. Jednocześnie powodują one jednak, iż pozyskiwany materiał skalny cechuje się znaczną zmiennością barwy i zróżnicowanymi walorami dekoracyjnymi. Dodatkowo obecne w skale koncentracje związków żelaza (m.in. hematytu) mogą zostać usunięte wraz z wodą, przy ekspozycji skały na działanie czynników atmosferycznych. Sytuacja taka dotyczy m.in. dostępnych obecnie na rynku triasowych piaskowców suchedniowskich ze złoża Kopulak (Bromowicz i Figarska-Warchoń 2012). Skutkuje to ograniczeniem możliwości aplikacji skały i zawężeniem przyszłych kierunków jej użytkowania do zastosowań we wnętrzach budynków.

Piaskowce szelfu silikoklastycznego płytszego (strefy przybrzeżnej zbiornika brackiczno-morskiego) i strefy brzegowej (plaży zewnętrznej), wykazują w odróżnieniu od analizowanych piaskowców deltowych znaczne zróżnicowanie miąższości ławic, stąd wachlarz możliwości ich gospodarczego wykorzystania obejmuje zarówno produkcję cienkich kształtek (odmiana IIs, Vo ze złoża Tresta Wesoła I i Tresta Wesoła IV), jak też kamieni blocznych (odmiana Is_{bl}, Io_{bl}, IIo_{bl}, IIIo_{bl}, IVo_{bl}). Skały przydatne jako kamień bloczny występują na ogół w postaci ławic średnich i grubych oraz sporadycznie pojawiających się ławic bardzo grubych. Charakterystyczne dla omawianego środowiska jest obserwowane na przemian łączenie się i rozczłonkowywanie ławic, podkreślone obecnością wkładek ilastych, wpływające na zmienne możliwości pozyskiwania bloków w poszczególnych częściach eksploatowanych złóż. Najczęściej ich miąższość nie przekracza kilkudziesięciu cm. Z tej przyczyny cięcie płyt w zakładach przerobczych prowadzone jest często wzdłuż laminacji skały. Korzystny wpływ na możliwości pozyskiwania bloków miała zachodząca w czasie sedymentacji amalgamacja ławic, prowadząca do lokalnego wzrostu ich miąższości nawet do ponad 3 m. Piaskowce akumulowane w strefie przybrzeżnej wykazują największe rozpręszczenie w profilach analizowanych w pracy złóż. Duża niejednorodność pozyskiwanego z nich materiału skalnego, związana ze złożoną budową wewnętrzną ławic oraz ich zmienną barwą i zwięzłością powoduje, iż reprezentowane są przez największą liczbę odmian o zróżnicowanych walorach użytkowych.

Piaskowce brzegowe, a częściowo również przybrzeżne odmiany Is_{bl} cechuje korzystne, równe i drobne uziarnienie oraz atrakcyjna jasnoszara i jasnożółta barwa, na ogół z delikatnym różowym odcieniem. W profilu złożowym przeważają piaskowce o laminacji płaskiej, a podrzędnie również przekątnej małej skali, posiadające największą wartość użytkową. Ponadto występują kilkunastocentymetrowej miąższości pakiety o warstwowaniu przekątnym wielkoskalowym, podkreślonym znaczną zawartością substancji ilastej, na ogół niewykazujące przydatności surowcowej. Niekorzystna jest również obniżająca walory dekoracyjne i użytkowe skały obecność toczeńców ilastych, ujawniających się często dopiero po przecięciu bloku na płyty i powodująca powstawanie strat. Piaskowce łatwo ulegają wietrzeniu i w niektórych partiach eksploatowanych złóż stają się rozsypliwie. Z wymienionych przyczyn znaczna część wydobywanego urobku nie przedstawia wartości użytkowej.

Cechy litologiczne analizowanych w pracy odmian blocznych piaskowców jurajskich

Lithological features of the analyzed in paper varieties of Jurassic sandstones suitable as dimension stone,

Środowisko sedymencji		Czoło delty	
			górne przybrzeże/plaża zewnętrzna
odmiana		Ib _{bl} , IIb _{bl}	Is _{bl}
Cechy litologiczne analizowanych odmian piaskowców	wpływ na właściwości użytkowe skały korzystny	– regularne ulawienie – ograniczenie strat urobku na etapie obróbki skały; – ławice średniej i grubej miąższości (do 1,5 m) – przy korzystnym układzie spękań zapewniające znaczne możliwości uzysku bloków; – drobne i równe uziarnienie – materiał jednorodny, o zbliżonych parametrach jakościowych; – wietrzeniowe pierścienie Lieseganga – wzrost atrakcyjności wizualnej i walorów dekoracyjnych skały; – koncentracje związków żelaza – j.w.	– ławice średniej i grubej, sporadycznie bardzo grubej miąższości (maksymalnie ponad 2 metry) – przy korzystnym układzie spękań znaczne możliwości uzysku bloków; – drobne i równe uziarnienie – materiał jednorodny o zbliżonych właściwościach użytkowych; – atrakcyjna jasnoszara, jasnożółta barwa skały, miejscami z różowym odcieniem – wzrost atrakcyjności wizualnej i walorów dekoracyjnych skały
	wpływ na właściwości użytkowe niekorzystny	– częste zmiany rodzaju występujących struktur wewnątrzławicowych (laminacja przekątna, płaska, warstwowanie soczewkowe) – trudności w pozyskiwaniu materiału o zbliżonych właściwościach użytkowych; anizotropia właściwości fizyczno-mechanicznych skały; – częste zmiany stopnia zwięzłości skały – problemy z urabianiem skały, część kopaliny nieprzydatna do gospodarczego wykorzystania; – znaczna zmienność barwy (jasnoszara, jasnożółta, różowa, żółta, czerwona) – trudności w uzyskaniu kopaliny o zbliżonych walorach dekoracyjnych/cechach wizualnych; – wietrzeniowe pierścienie Lieseganga – potencjalna możliwość wymywania związków żelaza przez wodę, stąd rekomendowane wykorzystanie skały do zastosowań we wnętrzach; – koncentracje związków żelaza w formie smug i „żyłek” – j.w., dodatkowo trudności w obróbce i cięciu w związku z różnym stopniem zwięzłości skały	– zmiennie ulawienie – niekorzystny wpływ na uzysk bloków; – obecność tocznic ilastych – wykruszanie się nagromadzeń minerałów ilastych powoduje powstawanie pustek w materiale kamiennym; wady te ujawniające się często dopiero w czasie obróbki skały i są przyczyną strat surowca; – złożona budowa wewnętrzna ławic (laminacja pozioma, laminacja przekątna małej i dużej skali); smugowanie związane z koncentracją minerałów o ciemniejszym zabarwieniu – trudności w pozyskiwaniu materiału o zbliżonych właściwościach użytkowych; kierunkowa zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych skały; – obecność pakietów warstwowych przekątnie podkreślonych obecnością substancji ilastej (miąższość do kilkunastu cm) – brak przydatności gospodarczej skały; – liczne kanaliki związane z działalnością organizmów (wypełnione drobniejszym materiałem) – zmienne właściwości techniczne i walory dekoracyjne skały; – słaba i umiarkowana zwięzłość skały – straty urobku; część kopaliny nieprzydatna do gospodarczego wykorzystania

Tabela 8.1

różnych środowisk sedymentacyjnych i ich wpływ na właściwości użytkowe skały

Table 8.1

accumulated in various sedimentary environments and its influence for the utility features of these rocks

Szelf silikoklastyczny płytszy/brzegowe	
górne/środkowe przybrzeże	dolne/środkowe przybrzeże
IO _{bl}	IIo _{bl} , IIIo _{bl} , IVo _{bl}
– ławica bardzo grubej miąższości (do ponad 3 m) – przy korzystnym układzie spękań znaczne możliwości uzysku bloków; – jednolita barwa i uziarnienie – materiał jednorodny o zbliżonych właściwościach użytkowych; – znaczna zwięzłość – korzystny wpływ na właściwości techniczne	– ławice średniej, grubej i bardzo grubej miąższości (do ponad 3 m) – przy korzystnym układzie spękań znaczne możliwości uzysku bloków; – amalgamacja ławic i lokalny wzrost ich miąższości do około 3 m – korzystny wpływ na możliwości uzysku bloków; – rzadko obserwowane skamieniałości śladowe – jednorodne właściwości techniczne skały
– zmienna miąższość ławicy – niekorzystny wpływ na uzysk bloków; – nierówna powierzchnia stropowa ławicy z głębokimi kanałami erozyjnymi – straty na etapie obróbki kopaliny związane z koniecznością dostosowywania pozyskiwanych nieregularnych brył do prostopadłościennych kształtów	– zmienna miąższość ławic – niekorzystny wpływ na uzysk bloków; – nierówna powierzchnia stropowa ławic związana z obecnością megariplemarków i kanałów erozyjnych – straty urobku na etapie obróbki kopaliny; – znaczny udział heterolitów piaskowcowo-iłowcowych w profilach złóż – ograniczenie udziału kopaliny w złożu; – złożona budowa wewnętrzna ławic (laminacja pozioma, laminacja przekątna małej skali); smugowanie związane z koncentracją minerałów o ciemniejszym zabarwieniu – trudności w pozyskiwaniu materiału o zbliżonych właściwościach użytkowych; kierunkowa zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych skały; – smugi minerałów ilastych związane z migracją riplemarków – materiał najdrobniejszej frakcji akumulowany w zagłębieniach między riplemarkami ulega usunięciu podczas cięcia skały i pod wpływem jej ekspozycji na działanie czynników atmosferycznych; – smugowanie związane z koncentracją składników o ciemniejszym zabarwieniu – zmienność walorów dekoracyjnych skały; – częste rozmycia wewnątrzławicowe i zmiana rodzaju warstwowania oraz barwy nawet w obrębie tej samej ławicy – zmienna jakość skały w obrębie tej samej ławicy oraz w poszczególnych miejscach eksploatacji

Piaskowce górnego/środkowego przybrzeża odmiany Io_{bl} występują w postaci tylko jednej ławicy, o miąższości do ponad 3 m. Z uwagi na jednorodne wykształcenie (drobne uziarnienie, brak lub słabo widoczna laminacja), jednolitą barwę oraz znaczną zwięźłość stanowią doskonały materiał wykorzystywany do produkcji płyt okładzinowych. Zmienna miąższość oraz nierówna powierzchnia stropowa ławicy, z głębokimi kanałami erozyjnymi, powodują jednak powstawanie strat na etapie obróbki materiału skalnego.

Piaskowce środkowego/dolnego przybrzeża odmian IIo_{bl} , $IIIo_{bl}$ i IVo_{bl} charakteryzują się często nierówną i silnie pofalowaną powierzchnią stropową ławic związaną z obecnością megariplemarków fałowych, stanowiących według Pieńkowskiego (2006) efekt działalności sztormów. Powoduje to straty urobku wynikające z konieczności dostosowania wydobywanych nieregularnych brył do prostopadłościennego kształtu i określonych wymiarów. Znaczne ograniczenie udziału kopaliny związane jest ponadto z obecnością w profilach złóż licznych wkładek skał ilastych z przewarstwieniami cienkoławicowych piaskowców, czyli tzw. heterolitów. Tego rodzaju osady wypełniają najczęściej obecne w piaskowcach kanały erozyjne o różnej głębokości. Największy ich udział stwierdzono w profilu złoża Sielec I i Sielec IV. Niekorzystny wpływ na możliwości wykorzystania tych piaskowców mają również mniejsze struktury erozyjne, w tym rozmycia wewnątrzławicowe, oddzielające materiał skalny o zróżnicowanej litologii i jakości. Piaskowce środkowego/dalszego przybrzeża z analizowanych złóż charakteryzują się znaczną zmiennością teksturalną. Rzadko są to piaskowce o bezładnym ułożeniu składników ziarnowych lub o słabo widocznej laminacji, reprezentowane w pracy przez odmianę IVo_{bl} . Ze względu na jednorodne wykształcenie skały te stanowią najcenniejszy materiał kamienny w profilach analizowanych złóż, ich udział nie przekracza jednak na ogół kilkunastu procent. Znacznie większe rozprzestrzenienie wykazują natomiast piaskowce odmiany $IIIo_{bl}$ o laminacji poziomej, przekątnej niskokątowej i lokalnie kopułowej, akumulowane na przemian w warunkach oddziaływania prądów i falowania. Mnogość występujących w skałach struktur sedimentacyjnych, typowych dla akumulacji w strefie przybrzeżnej morza (Pemberton i in. 2012) ma niekorzystny wpływ na jakość i atrakcyjność wizualną piaskowców. Na powierzchni płyt piaskowców odmiany $IIIo_{bl}$ przeciętych wzdłuż uławicenia często zaznacza się obecność dość regularnie rozmieszczonych smug o ciemniejszym zabarwieniu, powstałych w wyniku migracji riplemarków (łuki przyrostowe). Z kolei na powierzchni płyt przeciętych prostopadle do uławicenia pojawiają się lokalnie makroskopowo widoczne pustki, związane z wykruszaniem się mniej odpornych składników nagromadzonych w zagłębieniach między riplemarkami. Cechy te powodują, iż pomimo znacznych możliwości pozyskania bloków piaskowce omawianej odmiany nie są na większą skalę wykorzystywane do produkcji płyt okładzinowych. Zamiast tego zwykle dzielone są na mniejsze elementy foremne, znajdujące zastosowanie jako kamień murowy, bądź też cięte na mniejsze kształtki, czyli tzw. boniówkę.

Piaskowce odmian nieprzydatnych jako kamień bloczny

W każdej spośród analizowanych w pracy formacji jury dolnej wyróżniono odmiany piaskowców cienko i średnioławicowych, nieprzydatnych jako kamień bloczny. Fragmenta-

ryczne informacje na temat warunków depozycji tych skał nie pozwalają jednak na przeprowadzenie analizy wpływu procesów sedymentacyjnych na możliwości ich gospodarczego wykorzystania. Omawiane odmiany piaskowców reprezentują następujące środowiska sedymentacyjne:

- szelfowe, silikoklastyczne płytsze/brzegowe (środowisko morskie i lądowo-morskie), w tym:
 - przybrzeżne, a częściowo również brzegowe (plaża zewnętrzna) – piaskowce jurajskie formacji skłobskiej odmiany IIs, piaskowce jurajskie formacji ostrowieckiej odmiany Vo ze złoża Tresta Wesoła I, Tresta Wesoła IV;
- piaskowce o niejednoznacznie określonym lub nieinterpretowanym środowisku sedymentacji – piaskowce jurajskie formacji ostrowieckiej odmiany Vo ze złoża Mroczków Gościnnny-2, Mroczków Gościnnny-6, Kraszków 1 (prawdopodobnie płytszy szelf silikoklastyczny, delta); piaskowce jurajskie formacji borucickiej odmiany IIb (na podstawie obserwacji terenowych prawdopodobnie również środowisko płytszego szelfu silikoklastycznego lub deltowe).

8.2. Wpływ wykształcenia petrograficznego oraz procesów diagenetycznych na właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców

Wykształcenie petrograficzne piaskowców różnych poziomów stratygraficznych i jednostek geologicznych pozostaje w ścisłym związku z ich parametrami jakościowymi i możliwościami gospodarczego wykorzystania. Skład mineralny materiału detrytycznego, jego uziarnienie oraz procesy diagenetyczne zachodzące podczas powstawiania skały mają kluczowe znaczenie dla jej właściwości fizyczno-mechanicznych. Pierwsze z wymienionych parametrów analizowane są głównie pod kątem poszukiwania złóż węglowodorów. Drugie mają natomiast decydujące znaczenie dla możliwości wykorzystania skały jako kamienia architektonicznego. Szczególnie ważna w kontekście rozważanych właściwości jest jakość i ilość występującego w skale spoiwa.

Zagadnienie wpływu składu ziarnowego oraz przemian diagenetycznych na kształtowanie właściwości fizyczno-mechanicznych skał jest szeroko prezentowane w literaturze. Badania z tego zakresu prowadzone były m.in. dla piaskowców karpackich przez Peszata (1984), Bromowicza (1997), Rembisia (2002, 2015), Pszonkę (2009), Figarską-Warchołą i Stańczak (2016), a dla piaskowców świętokrzyskich przez Peszata (1973). Ostatni z wymienionych autorów (Peszata 1973), analizując piaskowce dolnojurajskie z kamieniołomów położonych w rejonie Szydłowca, Kunowa i Podola (poza granicami wyznaczonego w pracy obszaru badań), wiąże zmienność właściwości technicznych tych skał z różną zawartością krzemionki i minerałów ilastych w ich spoiwie. Udział poszczególnych składników mineralnych nie został jednak przez autora określony. Wyniki dotychczasowych badań petrograficznych piaskowców jurajskich (Teofilak-Maliszewska 1968) wskazują natomiast na stały

skład petrograficzny piaskowców i nie stanowią podstawy do wnioskowania na temat zróżnicowania ich parametrów jakościowych.

Przeprowadzone w ramach pracy badania dziesięciu odmian piaskowców zaliczanych do trzech formacji litostratygraficznych dolnej jury wykazały ścisły związek ich wykształcenia litologicznego i petrograficznego z właściwościami fizyczno-mechanicznymi. Stwierdzono, iż w obrębie każdego z analizowanych poziomów występują zarówno skały o słabych właściwościach fizyczno-mechanicznych i ograniczonej przydatności do zastosowań architektonicznych (wytrzymałość na ściskanie rzędu kilkunastu MPa, prędkości fali podłużnej około 1500 m/s), jak też wykazujące korzystne parametry techniczne (wytrzymałość na ściskanie do około 70 MPa, prędkość fali podłużnej do około 4000 m/s). Zakres zmienności i wartości średnie analizowanych parametrów fizyczno-mechanicznych są jednak dla poszczególnych wydzieleni zbliżone.

8.2.1. Wykształcenie petrograficzne a właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców

Przeprowadzone w pracy badania odmian piaskowców jury wykazały, iż na uzyskane wyniki oznaczeń właściwości fizyczno-mechanicznych wpływ mają m.in. zmienne proporcje ilościowe składników szkieletu ziarnowego, a także uziarnienie piaskowców, stopień upakowania materiału detrytycznego oraz udział i forma występującego spoiwa krzemionkowego, ilastego i żelazistego.

Piaskowce odmian blocznych

Spośród badanych odmian blocznych najmniejszą **gęstością objętościową** charakteryzują się bardzo drobnodziarniste (GSS: 3,98 Ø) piaskowce odmiany IIo_{bl} (1,98–2,03 Mg/m³, średnio 2,00 Mg/m³), o słabym upakowaniu szkieletu ziarnowego, a także grubiej od nich uziarnione (GSS: 3,08 Ø) i słabiej wysortowane piaskowce odmiany Io_{bl} (1,98–2,03 Mg/m³, średnio 2,01 Mg/m³, zał. nr 2). Udział kwarcu w piaskowcach omawianych odmian nie przekracza 76,6% obj., w większych ilościach występują natomiast litoklasty (do 4,0% obj. w odmianie Io_{bl}) i miki (do 4,6% obj. w odmianie IIo_{bl}, tab. 8.2). Na podobnym poziomie (1,95–2,04 Mg/m³) kształtuje się gęstość części próbek odmiany IVo_{bl}, o uziarnieniu odpowiadającym drobnodziarnistym pyłowcom (GSS: 4,08–4,18 Ø), w których składzie stwierdzono większy udział miki (do 6,8% obj.) i spoiwa ilastego (tab. 8.2). Występujące w obrębie tej odmiany próbki niemal monomineralnych (do 92,1% obj. kwarcu), bardzo drobnodziarnistych piaskowców (GSS: 3,63–3,68 Ø) wykazują zdecydowanie wyższą gęstość (2,11–2,14 Mg/m³). Niewielką zmiennością analizowanego parametru (2,03–2,08 Mg/m³, średnio 2,06 Mg/m³) charakteryzują się natomiast bardzo drobnodziarniste skały odmiany IIIo_{bl}, o mało zróżnicowanym składzie petrograficznym. Są to piaskowce niemal monomineralne, o wysokiej zawartości kwarcu (82,3–87,8% obj.), niewielkim udziale łuszczyków i skaleni oraz głównie regeneracyjnym spoiwie krzemionkowym, stanowiącym do 15,0% obj. skały. Udział pozostałych składników spoiwa, w tym związków żelaza (do 1,3% obj.) oraz ob-

serwowanych lokalnie w badaniach w mikroskopie skaningowym skupień drobnych płytek kaolinitu i mikrokrystalicznej krzemionki oraz ilasto-okruchowej matrix (łącznie do 3,3% obj.) jest w nich podrzędny. W górnym zakresie notowanych wartości gęstości objętościowej znajdują się również piaskowce odmiany Ib_{bl} (skały drobnoziarniste o GSS: 2,86–2,99 Ø) i IIb_{bl} (skały drobnoziarniste o GSS: 2,91–3,07 Ø), pomimo na ogół słabszego upakowania materiału detrytycznego, znacznych rozmiarów przestrzeni porowej i grubszego uziarnienia (tab. 8.2, zał. nr 2). Obserwacje mikroskopowe wykazały, iż skały te charakteryzują się wyższym w stosunku do pozostałych odmian udziałem skaleni (do 4,3% obj. w odmianie IIb_{bl}), a w ich spoiwie znajdują się znaczne nagromadzenia związków żelaza (do 30,2% obj., w odmianie Ib_{bl}) i lokalnie regeneracyjnej krzemionki (do 12,6% obj. w odmianie Ib_{bl}). Udział związków żelaza w spoiwie wpływa również na wyniki oznaczeń gęstości piaskowców odmiany Is_{bl} , o słabym upakowaniu materiału detrytycznego oraz niewielkim stopniu regeneracji kwarcu. Istotne znaczenie w tym przypadku ma ponadto obecność minerałów ciężkich, tworzących większe koncentracje również w innych odmianach piaskowców strefy brzegowej i przybrzeża (maksymalnie 2,8% obj. w odmianie IVo_{bl}).

Nasiąkliwość wagowa jest na ogół najmniejsza w odmianach piaskowców o najdrobniejszym uziarnieniu. W tej grupie znajdują się bardzo drobnoziarniste piaskowce odmiany $IIIo_{bl}$ (6,31–7,55%, średnio 6,89%), o stosunkowo ścisłym upakowaniu ziaren, oraz próbki gruboziarnistych pyłowców odmiany IVo_{bl} (nawet 6,07%). Wyjątek stanowią natomiast bardzo drobnoziarniste piaskowce odmiany IIo_{bl} , o znacznych przestrzeniach porowych, tylko częściowo wypełnionych spoiwem żelazisto-krzemionkowo-ilastym, a sporadycznie również węglanowym. Skały te charakteryzują się jedną z najwyższych notowanych wartości nasiąkliwości (7,57–8,47, śr. 7,95%). Wśród piaskowców drobnoziarnistych najkorzystniejsze wyniki oznaczeń uzyskano dla piaskowców odmiany IIb_{bl} (5,70–7,61%, śr. 6,84%) oraz Is_{bl} (6,94–7,99%, średnio 7,30%), o stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu – odpowiednio 76,4–82,7 i 78,8–89,6%, oraz udziale spoiwa od około 5 do około 18%. Skały odmiany IIb_{bl} pomimo większych niż w gruboziarnistych pyłowcach i bardzo drobnoziarnistych piaskowcach rozmiarów przestrzeni porowych charakteryzują się obecnością na ogół licznych obwódek regeneracyjnych na ziarnach kwarcu. Miejscami obserwowane są ponadto narastające na zregenerowanych ziarnach kwarcu agregaty hematytu (a także związki manganu), co skutkowało zmniejszeniem rozmiarów przestrzeni porowej i w efekcie doprowadziło do ograniczenia nasiąkliwości piaskowców. Wyższe wartości tego parametru, pomimo znacznej zawartości krzemionkowego spoiwa regeneracyjnego, wykazują natomiast piaskowce odmiany Io_{bl} (7,63–8,61, śr. 8,12%), o większym udziale litoklastów ilasto-okruchowych oraz domieszce spoiwa typu matrix i minerałów ilastych. Składniki te nie wypełniają w całości przestrzeni porowej i obserwowana jest między nimi mikroporowatość. Najwyższą nasiąkliwością spośród piaskowców drobnoziarnistych odznaczają się skały odmiany Ib_{bl} , o mniejszej zawartości kwarcu (61,6–76,8%), słabym upakowaniu szkieletu ziarnowego i dużych przestrzeniach porowych, tylko częściowo wypełnionych spoiwem. Ponadto w tej odmianie zaznacza się podwyższony udział silnie przeobrażonych skaleni. Dla wyników pomiarów nasiąkliwości objętościowej stwierdzono analogiczne zależności.

Charakterystyka petrograficzna i właściwości fizyczno-mechaniczne blocznych

Petrographic characteristics and physico-mechanical properties of varieties

Środowisko sedimentacji/odmiana				Czoło delty		
				Ib _{bl}	IIb _{bl}	
Rodzaj badania						
Analiza granulometryczna	GSS (M _z) [Ø]		od-do	2,86–2,99	2,91–2,98	
	GSO (σ _I) [Ø]		od-do	0,50–0,64	0,48–0,63	
	GSK (Sk _I) [Ø]		od-do	–0,17–0,25	0,17–0,47	
	uziarnienie			drobnoziarnisty	drobnoziarnisty	
	wysortowanie		od-do	średnie	średnie–dobre	
	rodzaj skośności rozkładu			negatywna–pozytywna	pozytywna–bardzo pozytywna	
Skład petrograficzny	szkielet ziarnowy (% obj.)	kwarc	od-do	69,4–76,8	76,4–85,0	
		litoklasty	od-do	0,6–4,6	0,3–1,6	
		skalenie	od-do	0,0–4,3	0,7–2,8	
		łyseczyki	od-do	0,3–3,2	0,0–0,6	
		Mc + gl + so	od-do	0,0–1,8	0,3–0,7	
	spoiwo (% obj.)	krzemionka regeneracyjna	od-do	3,0–6,9	8,7–12,6	
		związki żelaza	od-do	2,1–18,6	0,0–9,3	
		Mx+il+krz _{nreg} +Fe	od-do	0,0–7,9	0,0–1,1	
		węglanowe	od-do	–	–	
		suma	od-do	12,1–25,5	12,6–18,0	
Właściwości fizyczno-mechaniczne	gęstość obj. ρ _o [Mg/m ³]		od-do	2,04–2,05	2,04–2,14	
			śr.	2,05	2,08	
	nasiąkliwość wagowa N _w [%]		od-do	7,32–7,63	5,70–7,61	
			śr.	7,51	6,84	
	nasiąkliwość objętościowa N _o [%]		od-do	15,05–15,59	12,17–15,56	
			śr.	15,38	14,22	
	wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym Rc _s [MPa]		od-do	19,44–28,08	27,14–52,38	
			śr.	23,95	43,39	
	prędkość fali podłużnej V _p [m/s], współczynnik anizotropii A	w stanie powietrzno-suchym	V _{ps⊥}	od-do	1 645–1 848	2 210–3 953
				śr.	1 737	3 040
			V _{psII}	od-do	1 782–2 058	2 352–3 783
				śr.	1 917	3 207
			A	od-do	0,90–0,92	0,85–1,07
				śr.	0,91	0,95
		po nasyceniu H ₂ O	V _{pm⊥}	od-do	1 682–1 819	2 644–4 147
				śr.	1 750	3 487
			V _{pmII}	od-do	1 725–1 753	2 501–4 129
				śr.	1 739	3 542
	wskaźnik zmiany prędkości B	A	od-do	0,95–1,04	0,95–1,06	
śr.			1,00	1,01		
B _⊥ (%)		od-do	2,25–10,57	4,06–25,21		
		śr.	6,41	11,45		
		B _{II} (%)	od-do	–4,19–(–3,19)	1,21–12,69	
			śr.	–3,69	6,69	
właściwości użytkowe				bardzo słabe	korzystne	

krz_{nreg} – spoiwo krzemionkowe inne niż regeneracyjne obwódki kwarcowe, w tym mikrokrystaliczna krzemionka i agregaty chalcedonu, Fe – spoiwo żelaziste.

Tabela 8.2

odmian piaskowców jurajskich z uwzględnieniem warunków ich sedymentacji

Table 8.2

of Jurassic dimension sandstones formed in various sedimentary conditions

Szelf silikoklastyczny płytszy/brzegowe				
górne przybrzeże/plaża zewnętrzna	górne/środkowe przybrzeże	dolne/środkowe przybrzeże		
Is _{bl}	Io _{bl}	IIo _{bl}	IIIo _{bl}	IVo _{bl}
2,52–2,98	2,99	3,98	3,95–3,99	3,63–4,18
0,48–0,58	0,60	0,45–0,46	0,45–0,55	0,44–0,53
0,05–0,34	0,08	0,17	0,10–0,17	–0,05–0,36
drobnoziarnisty	drobnoziarnisty	bardzo drobnoziarnisty	bardzo drobnoziarnisty	gruboziarnisty pyłowiec–bardzo drobnoziarnisty piaskowiec
średnie–dobre	średnie	dobre	średnie–dobre	średnie–dobre
prawie symetryczna–bardzo pozytywna	prawie symetryczna	pozytywna	prawie symetryczna– –pozytywna	prawie symetryczna–bardzo pozytywna
78,8–89,6	71,4–77,3	64,0–76,6	81,1–87,8	68,3–92,1
0,7–2,5	3,2–4,0	1,7–3,1	1,1–1,8	1,4–3,1
0,0–1,1	0,6–1,4	0,0–0,4	0,4–1,4	0,0–0,7
0,3–1,8	0,6–2,4	4,1–4,6	0,4–2,4	0,4–6,8
0,7–2,2	0,3–2,2	1,9–2,1	0,7–2,1	0,3–2,8
4,7–7,8	7,9–10,6	6,1–7,3	5,7–15,0	2,8–14,2
0,0–7,4	0,0–6,0	3,8–14,3	0,0–1,3	0,0–3,8
0,0–4,5	4,8–7,3	4,1–5,6	0,7–3,3	0,9–8,3
–	–	0,0–0,3	–	–
4,9–18,4	15,4–23,9	15,2–26,0	6,7–15,7	4,2–22,0
1,97–2,09	1,98–2,03	1,98–2,03	2,03–2,08	1,95–2,14
2,05	2,01	2,00	2,06	2,05
6,94–7,99	7,63–8,61	7,57–8,47	6,31–7,55	6,07–9,03
7,30	8,12	7,95	6,89	7,21
13,66–16,23	15,54–17,04	15,38–16,77	13,11–15,32	12,85–17,61
14,97	16,29	15,94	14,20	14,71
15,43–45,58	48,70–48,90	21,00–45,84	19,12–65,03	26,23–52,46
31,59	48,80	31,21	46,49	42,12
1 362–2 239	2 044–2 206	1 587–2 058	2 080–3 446	2 139–3 157
1 806	2 125	1 764	2 820	2 720
1 516–2 285	2 356–2 520	1 992–2 097	2 074–3 779	2 071–3 459
1 845	2 438	2 057	3 054	2 904
0,90–1,06	0,81–0,94	0,76–0,98	0,88–1,00	0,85–1,03
0,98	0,87	0,86	0,93	0,94
1 306–2 231	1 776–1 947	1 075–1 887	2 323–3 639	2 639–3 350
1 897	1 812	1 425	3 101	3 010
1 169–2 193	2 047–2 342	1 158–1 819	2 304–3 869	2 661–3 425
1 793	2 195	1 524	3 179	3 076
0,89–1,01	1,11–1,32	0,96–1,21	0,94–1,08	0,97–1,18
0,94	1,21	1,09	1,02	1,03
–17,22–5,23	–16,27–(–13,11)	–32,30–(–8,33)	0,89–11,30	–0,74–8,04
–3,62	–14,69	–20,28	6,36	4,37
–25,93–4,01	–13,14–(–7,03)	–44,24–(–13,27)	–6,14–3,07	–4,41–2,56
–12,00	–10,08	–25,87	–0,79	–0,26
słabe	korzystne	słabe	korzystne	korzystne

Mc – minerały ciężkie, gl – glaukonit, so – substancja organiczna, mx – spoiwo typu matrix, il – spoiwo ilaste,

Najwyższą **wytrzymałość na ściskanie** wykazują piaskowce odmian Io_{bl} , $IIIo_{bl}$, IIf_{bl} i IVo_{bl} , dla których średnia wartość tego parametru zawiera się w przedziale 42–49 MPa. Z wyjątkiem odmiany Io_{bl} , zaliczonej częściowo do arenitów sublitycznych, są to arenity kwarcowe. Maksymalne wartości oznaczeń uzyskano dla pojedynczych próbek odmiany $IIIo_{bl}$ (ok. 65 MPa), a także odmian IVo_{bl} i IIf_{bl} (powyżej 52 MPa). Na stosunkowo wysoką wytrzymałość piaskowców wpływa znaczny udział regeneracyjnego spoiwa krzemionkowego, stanowiący w wymienionych odmianach nawet kilkanaście procent (maksymalnie 10–15% obj.). W piaskowcach odmiany $IIIo_{bl}$ i IVo_{bl} zwraca również uwagę stosunkowo wysoki stopień upakowania materiału ziarnowego i znaczący udział kontaktów wkłęsło-wypukłych. Piaskowce odmian IIf_{bl} oraz Io_{bl} , o nieco większych rozmiarach przestrzeni porowych, cechuje natomiast wyższy stopień wykształcenia obwódek regeneracyjnych. Najmniejszą wytrzymałością na ściskanie charakteryzują się piaskowce odmian Is_{bl} (15,43–45,58 MPa, 31,59 MPa), IIo_{bl} (21,00–45,84, śr. 31,21 MPa), oraz Ib_{bl} (19,44–28,08 MPa, 23,95 MPa) o słabszym upakowaniu materiału detrytycznego. Udział regeneracyjnej krzemionki nie przekracza w nich 8% obj. W trakcie badań petrograficznych w pojedynczych preparatach każdej z tych odmian stwierdzono również kilkuprocentową domieszkę spoiwa ilastego i/lub typu matrix. W piaskowcach odmiany IIo_{bl} niekorzystny wpływ na wytrzymałość skały ma dodatkowo obecność miki, stanowiącej 4–5% obj. (arenit sublityczny). Obydwa wymienione składniki występują w większych ilościach również w próbkach gruboziarnistych pyłowców odmiany IVo_{bl} , zaliczonych do arenitów sublitycznych, wpływając na obniżenie ich wytrzymałości na ściskanie do poziomu 26–29 MPa.

Porównując uzyskane wyniki oznaczeń z prezentowanymi w pracy Peszata (1973) dla jurajskich piaskowców z rejonu Szydłowca, Kunowa i Podola, stwierdzono, że średnie wartości gęstości objętościowej są zbliżone, a średnie wartości nasiąkliwości wagowej nieznacznie niższe. Najbliższe podawanej przez autora średniej wytrzymałości na ściskanie są wyniki pomiarów dla piaskowców o najkorzystniejszych parametrach, czyli odmiany Io_{bl} , $IIIo_{bl}$, IIf_{bl} , IVo_{bl} , natomiast dla pozostałych odmian, tj.: Ib_{bl} , Is_{bl} , IIo_{bl} , otrzymano średnie wartości zdecydowanie niższe. Z kolei w stosunku do rezultatów badań piaskowców z Szydłowca prowadzonych przez Pinińską (1994), uzyskano mniejsze wartości nasiąkliwości, przy wyższych wartościach gęstości objętościowej i wytrzymałości na ściskanie (z wyłączeniem piaskowców odmiany Ib_{bl} , Is_{bl} i IIo_{bl}). Autorka podaje również dane dotyczące ścieralności na tarczy Boehmego, kształtującej się na poziomie 27,5 mm, co odpowiada najwyższej spośród wydzielonych w normie PN-84/B-01080:1984 klas ścieralności. Z uwagi na ograniczoną przydatność piaskowców na okładziny poziome (znaczna nasiąkliwość, średnia wytrzymałość na ściskanie), w pracy zrezygnowano z oznaczenia tego parametru. Nie przeprowadzono również badań mrozoodporności, aczkolwiek na odpowiednie wartości tego parametru wskazuje dobry stan zachowania piaskowców w obiektach architektonicznych. Reasumując, przeprowadzone badania wykazały porównywalne, a czasami nawet korzystniejsze parametry techniczne piaskowców odmian Io_{bl} , $IIIo_{bl}$, IIf_{bl} i IVo_{bl} , w stosunku do odmian pozyskiwanych w innych miejscach eksploatacji. Odpowienie właściwości fizyko-mechaniczne tych skał zweryfikowane zostały również w czasie wieloletniej, a niekiedy na-

wet wielowiekowej praktyki ich użytkowania. Niższą średnią wytrzymałością na ściskanie w stosunku do wyników prezentowanych badań Peszata (1973) i Pinińskiej (1994) uzyskano natomiast dla piaskowców odmiany Ib_{bl}, Is_{bl} i Ilo_{bl}.

Wykonane **badania ultradźwiękowe**, stanowiące uzupełnienie badań podstawowych właściwości fizyczno-mechanicznych i zalecane jako metoda stosowana do oceny jakości kamieni blocznych (Figarska-Warchoł i Stańczak 2016) wykazały znaczne zróżnicowanie prędkości fali podłużnej w zależności od kierunku pomiaru i stanu nasycenia próbek. Wyniki przeprowadzonych pomiarów pozostają na ogół w ścisłym związku z pozostałymi parametrami fizyczno-mechanicznymi, w szczególności z wynikami badań wytrzymałości na ściskanie. Różnice między pomierzonymi średnimi prędkościami fali podłużnej dla analizowanych odmian piaskowców sięgają maksymalnie do około 1400 m/s dla próbek suchych i do około 1 800 m/s dla próbek nasyconych wodą.

Największą **prędkość fali podłużnej** wykazują piaskowce odmiany IIb_{bl}, IIIo_{bl} i IVo_{bl}, o najbardziej korzystnych właściwościach, stwierdzonych badaniami gęstości objętościowej, nasiąkliwości oraz wytrzymałości na ściskanie. Wysokie wartości analizowanego parametru w piaskowcach odmiany IIIo_{bl} (2080–3446 m/s, średnio 2820 m/s dla próbek suchych i 2074–3779, średnio 3054 m/s dla próbek nasyconych wodą) i IVo_{bl} (2139–3157 m/s, średnio 2720 m/s dla próbek suchych i 2071–3459, średnio 2904 m/s dla próbek nasyconych wodą) związane są ze stosunkowo ścisłym upakowaniem szkieletu ziarnowego, relatywnie wysokim udziałem spoiwa krzemionkowego oraz kwarcu, a także bardzo drobnym uziarnieniem skał. Z kolei w piaskowcach odmiany IIb_{bl}, wykazujących grubsze uziarnienie oraz słabsze upakowanie materiału detrytycznego, wpływ na wyniki pomiaru (2210–3953 m/s, średnio 3040 m/s dla próbek suchych i 2352–3783, średnio 3207 m/s dla próbek nasyconych wodą) wywiera znaczący udział kwarcu i spoiwa krzemionkowego, a prawdopodobnie również obecność związków żelaza (m.in. w formie agregatów hematytu) oraz związków manganu. Zgodnie z wynikami badań Pinińskiej i Płatka (2002) występująca w skałach mineralizacja stanowi jeden z czynników powodujących wzrost prędkości fali podłużnej. Zaskakujące wyniki pomiarów otrzymano dla piaskowców odmiany Io_{bl}, o stosunkowo wysokiej wśród analizowanych skał jurajskich wytrzymałości na ściskanie, w których prędkości zmieniają się w zakresie 2044–2206 m/s (średnio 2125 m/s) dla próbek suchych i 2356–2520 m/s (średnio 2438 m/s) dla próbek nasyconych wodą. Badania petrograficzne wykazały, iż wynika to z podwyższonego udziału litoklastów ilasto-okruchowych oraz spoiwa ilastego i drobnookruchowej matrix w składzie skały, przy zawartości kwarcu nie większej niż 76,6% obj. Taki skład piaskowców odpowiada również za ich stosunkowo niską gęstość objętościową i wysoką nasiąkliwość. Negatywny wpływ minerałów ilastych na wyniki pomiarów prędkości fali podłużnej potwierdzają m.in. badania Bały (2009). Spośród analizowanych odmian piaskowców dolnej jury najniższe wartości badanego parametru wykazują skały odmiany Ib_{bl} (średnio 1737 m/s dla próbek suchych i 1917 m/s, dla próbek nasyconych wodą), Ilo_{bl} (średnio 1764 m/s dla próbek suchych i 2057 m/s, dla próbek nasyconych wodą) i Is_{bl} (średnio 1806 m/s dla próbek suchych i 1845 m/s, dla próbek nasyconych wodą). Są to skały o najsłabszych parametrach wytrzymałościowych, związanych z mniejszym udziałem

kwarcu i spoiwa krzemionkowego, a także większą domieszką spoiwa ilastego i/lub spoiwa typu matrix (do kilku procent) oraz składników innych niż kwarc, w tym skaleni z przejawami zaawansowanej kaolinityzacji (w odmianie Ib_{bl}).

Przeprowadzone badania ultradźwiękowe wykazały na ogół silną kierunkową anizotropię właściwości piaszczowców. W skałach wszystkich analizowanych odmian średnie prędkości fali podłużnej dla próbek suchych, mierzone prostopadle do uławicenia są znacząco niższe niż zgodnie z nim. Największe różnice pomiędzy wynikami dla dwóch analizowanych kierunków obserwowane są dla piaszczowców formacji ostrowieckiej odmiany Io_{bl} i IIo_{bl} , dla których wartość współczynnika A wynosi średnio 0,87 i 0,86, a także dla piaszczowców formacji borucickiej odmiany Ib_{bl} (średnio 0,91). Dla próbek nasyconych wodą największe różnice prędkości stwierdzono również dla odmiany Io_{bl} (współczynnik $A = 1,21$), jednak w tym przypadku wartość mierzonego parametru dla kierunku prostopadłego do uławicenia skały jest wyższa. Kierunkowa zmienność propagacji fali ultradźwiękowej w analizowanych piaszczowcach, związana jest głównie z występującą laminacją oraz różnym stopniem upakowania składników ziarnowych (większym z kierunku zgodnym z uławiceniem skały). Niejasne są natomiast wyższe prędkości fal propagowanych w kierunku prostopadłym do uławicenia niż w kierunku równoległym, notowane dla próbek nasyconych wodą. Można przypuszczać, iż silniejsze tłumienie fal w kierunku zgodnym z uławiceniem w piaszczowcach odmiany Io_{bl} może mieć związek z obecnością kierunkowo ułożonych litoklastów ilasto-okruchowych, domieszki spoiwa ilastego oraz typu matrix.

Warto podkreślić, iż pomiary próbek nasyconych wodą wykazały wyższe średnie prędkości fali podłużnej tylko w przypadku czterech spośród siedmiu analizowanych odmian piaszczowców, a w kierunku równoległym tylko w dwóch. Największy wzrost prędkości (średnio o około 11% w kierunku prostopadłym do uławicenia i około 7% w kierunku z nim zgodnym) stwierdzono w piaszczowcach odmiany IIb_{bl} , o znacznych rozmiarach przestrzeni porowej. Największe spadki zanotowano natomiast dla piaszczowców odmiany IIo_{bl} (średnio o około 20% w kierunku prostopadłym do uławicenia i około 25% w kierunku zgodnym z uławiceniem), o większym udziale miki i spoiwa ilastego oraz odmiany Io_{bl} (średnio o około 15% w kierunku prostopadłym do uławicenia i około 10% w kierunku zgodnym), z litoklastami ilasto-okruchowymi i domieszką spoiwa ilastego. Udział wymienionych składników ilastych może stanowić przyczynę tłumienia fali podłużnej, w istotny sposób wpływając na wyniki pomiarów.

Poziomem odniesienia dla uzyskanych w pracy prędkości fali podłużnej są wyniki badań dolnojurajskich piaszczowców z Szydłowca: 2691–3510 m/s (Pinińska 1994), a nawet 3355–3798 m/s (Kłopotowska 2011). Spośród odmian blocznych najbliższe tych wartości są piaszczowce odmiany $IIIo_{bl}$, IVo_{bl} i IIb_{bl} , podczas gdy piaszczowce odmian Ib_{bl} , Is_{bl} i IIo_{bl} najbardziej od nich odbiegają. Prędkości uzyskane dla blocznych odmian piaszczowców jurajskich – 1075–4147 m/s – odpowiadają według zakresu prędkości rozchodzenia się fali podłużnej w skałach osadowych, przedstawionego przez Thiela (1980) i zmodyfikowanego przez Pinińską (1994) piaszczowcom słabo zwięzłym (1500–2500 m/s) oraz zwięzłym (1800–3500 m/s), sporadycznie przyjmując również wartości wyższe (> 3500 m/s) i niższe (< 1500 m/s).

Piaskowce odmian nieprzydatnych jako kamień bloczny

Piaskowce odmian nieprzydatnych jako kamień bloczny charakteryzują się na ogół korzystnymi właściwościami fizyczno-mechanicznymi (tab. 8.3).

Najwyższą gęstość spośród trzech analizowanych odmian wykazują piaskowce odmiany Is ($2,20\text{--}2,25\text{ Mg/m}^3$, średnio $2,21\text{ Mg/m}^3$) i Vo ($2,09\text{--}2,15\text{ Mg/m}^3$, średnio $2,13\text{ Mg/m}^3$), podczas gdy nieco niższe wartości uzyskano dla piaskowców odmiany IIb ($2,05\text{ Mg/m}^3$). Skały te charakteryzują się bardzo drobnym, a w odmianie Vo również drobnym uziarnieniem, zbliżonym udziałem kwarcu oraz stosunkowo wysokim udziałem regeneracyjnej krzemionki (często powyżej 10% obj.). Na najwyższą wartość gęstości objętościowej piaskowców odmiany Is wpływa występowanie w przestrzeniach międzyziarnowych kulistych agregatów hematytu, stanowiących do 7% obj. skały. Ich obecność stwierdzono również w piaskowcach odmiany Vo ze złoża Tresta Wesoła I. Z kolei w piaskowcach tej odmiany ze złoża Kraszków-1 występują nagromadzenia związków żelaza w formie smug i „żyłek” obserwowanych pod mikroskopem jako bardzo drobne, brunatno-czerwone agregaty (prawdopodobnie goethytowe lub goethytowo-hematytowe).

Nasiąkliwość wagowa i objętościowa najmniejsza w piaskowcach odmiany IIs (odpowiednio 4,87–4,93%, średnio 4,90% i 10,81–10,90%, średnio 10,85%), największa w piaskowcach odmiany IIb (odpowiednio 7,14% i 14,64%), determinowana jest na ogół bardzo drobnym uziarnieniem, ścisłym upakowaniem szkieletu ziarnowego i tym samym niewielkimi rozmiarami przestrzeni porowej piaskowców. Wyjątek stanowią skały odmiany Vo ze złoża Kraszków-1 o przewadze kontaktów punktowych i znacznym udziale związków żelaza w spoiwie (12,8% obj.), tylko częściowo wypełniających znacznych rozmiarów pory.

Piaskowce cienko- i średnioławicowe wykazują stosunkowo wysoką wytrzymałość na ściskanie w związku z na ogół bardzo drobnym uziarnieniem, znacznym stopniem upakowania materiału detrytycznego i regeneracji ziaren kwarcu. Lokalnie silne wiązanie skały zapewnia większy udział spoiwa żelazistego. Sytuacja taka ma miejsce m.in. w piaskowcach odmiany IIb, o najwyższej w tej grupie wytrzymałości na ściskanie (68,98 MPa), a także odmiany IIs, w których agregaty hematytu wykrywały się na zregenerowanych ziarnach kwarcu, wypełniając dodatkowo niewielką przestrzeń porową. Wytrzymałość piaskowców tej odmiany wynosi średnio 54,40 MPa, przy zakresie zmienności od 41,78 do 62,63 MPa. Spośród piaskowców odmiany Vo największą wytrzymałość wykazują skały ze złoża Tresta Wesoła I i -IV oraz złoża Mroczków Gościanny-2 i -6, które w odróżnieniu od piaskowców ze złoża Kraszków-1 charakteryzują się silniej zaznaczającą się regeneracją ziaren kwarcu.

Prędkości fali podłużnej, najwyższe w piaskowcach odmiany IIs (powyżej 3000 m/s), nieco niższe w piaskowcach odmiany Vo i IIb, uzależnione są nie tylko od udziału kwarcu, spoiwa krzemionkowego i ścisłego upakowania szkieletu ziarnowego, ale również od obecności i formy występowania związków żelaza. Stąd też pomimo znacznych rozmiarów przestrzeni porowej i słabiej zaznaczającej się regeneracji ziaren kwarcu piaskowce ze złoża Kraszków-1 wykazują prędkości fali podłużnej nawet powyżej 3000 m/s.

Tabela 8.3

Charakterystyka petrograficzna i właściwości fizyczno-mechaniczne odmian piaskowców jurajskich nieprzydatnych jako kamień bloczny z uwzględnieniem warunków ich sedimentacji

Table 8.3

Petrographic characteristics and physico-mechanical properties of varieties of Jurassic non-dimension sandstones (thin and medium thickness bedded) formed in various sedimentary conditions

Rodzaj badania			Środowisko sedimentacji/odmiana	Brzegowe/szelf silikoklastyczny	Szelf silikoklastyczny/deltowe?	Brak danych*	
				IIs	Vo	IIlb	
Analiza granulometryczna	GSS (M_z) [Ø]		od-do	3,66	279–3,96	3,61	
	GSO (σ_1) [Ø]		od-do	0,51	0,46–0,74	0,42	
	GSK (Sk_j) [Ø]		od-do	0,13	–0,02–0,11	0,03	
	uziarnienie			bardzo drobnodziarnisty	bardzo drobnodziarnisty– drobnodziarnisty	bardzo drobnodziarnisty	
	wysortowanie		od-do	średnie	średnie–dobre	dobre	
rodzaj skośności rozkładu				bardzo pozytywna	prawie symetryczna–pozytywna	prawie symetryczna	
Skład petrograficzny	szkielet ziarnowy (% obj.)	kwarc	od-do	66,0	70,1–82,6	68,7	
		litoklasty	od-do	1,9	0,3–2,0	1,2	
		skalenie	od-do	0,5	0,0–0,6	–	
		łyśczyki	od-do	4,9	0,0–2,7	2,1	
		Mc + gl + so	od-do	1,6	0,4–1,4	1,6	
	spoiwo (% obj.)	krzemionka regeneracyjna	od-do	12,7	6,1–13,5	12,4	
		związki żelaza	od-do	7,0	1,6–14,4	14,0	
		Mx+il+krz _{nreg} +Fe	od-do	5,4	2,5–8,2	–	
		suma	od-do	25,1	15,2–24,6	26,4	
Właściwości fizyczno–mechaniczne	gęstość obj. ρ_o [Mg/m ³]		od-do	2,20–2,25	2,09–2,15	2,05	
			śr.	2,21	2,13	–	
	nasiąkliwość wagowa N_w [%]		od-do	4,87–4,93	5,66–7,03	7,14	
			śr.	4,90	6,32	–	
	nasiąkliwość objętościowa N_o [%]		od-do	10,81–10,90	12,05–15,32	14,64	
			śr.	10,85	12,76	–	
	wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym Rc_s [MPa]		od-do	41,78–62,63	27,73–66,05	68,98	
			śr.	54,40	43,13	–	
	prędkość fali podłużnej V_p [m/s], współczynnik anizotropii A	w stanie powietrzno- suchym	V_{psL}	od-do	3 117–3 317	1 861–3 129	2 527
				śr.	3 192	2 616	–
			V_{psII}	od-do	3 371–3 486	2 283–3 209	2 699
				śr.	3 443	2 710	–
		po nasyceniu H_2O	A	od-do	0,89–0,96	0,80–1,04	0,94
				śr.	0,93	0,96	–
			V_{pmL}	od-do	3 160–3 532	1 703–3 305	2 658
				śr.	3 297	2 789	–
	wskaznik zmiany prędkości B	V_{pmII}	od-do	3 348– 3 712	2 083–3 312	2 701	
			śr.	3 522	2 017	–	
A		od-do	1,05–1,11	0,80–1,22	1,02		
		śr.	1,07	0,96	–		
właściwości użytkowe			$B_{\perp}$ (%)	od-do	1,37–6,46	–8,5–15,5	5,15
				śr.	3,25	6,14	–
			B_{II} (%)	od-do	–0,67–6,95	–10,3–9,2	0,08
śr.	2,30	–2,25		–			
			korzystne	słabe/korzystne	korzystne		

* Obserwacje terenowe wskazują na środowisko płytkomorskie lub deltowe, Mc – minerały ciężkie, gl – glaukonit, so – substancja organiczna, mx – spoiwo typu matrix, il – spoiwo ilaste, il – spoiwo krzemionkowe inne niż regeneracyjne obwódki kwarcowe, w tym mikrokrystaliczna krzemionka i agregaty chalcedonu, Fe – spoiwo żelaziste.

8.2.2. Wpływ procesów diagenetycznych na właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców

Prowadzące do powstania piaskowców procesy diagenetyczne uzależnione są, w szczególności na wczesnym etapie, od środowiska sedymentacji oraz składu mineralnego materiału detrytycznego (Maliszewska 1996). Jak już wcześniej wspomniano, analizowane w pracy odmiany piaskowców jury to skały niemal monomineralne, niewykazujące znaczącego zróżnicowania rodzaju składników budujących ich szkielet ziarnowy. Dominujący w składzie mineralnym każdej z wyróżnionych odmian piaskowców kwarc wykazuje stabilność zarówno chemiczną, jak też mechaniczną (Bjørlykke 1983). Nietrwale termodynamicznie skalenie, łyszczyki i litoklasty tworzą większe koncentracje tylko lokalnie. Pierwsze z nich występują w większych ilościach w blocznych piaskowcach deltowych odmian Ib_{bl} i IIb_{bl} . Łyszczyki stwierdzane są natomiast częściej w piaskowcach przybrzeżnych odmian blocznych IIo_{bl} i IVo_{bl} (preparaty gruboziarnistych pyłowców) oraz w odmianie cienko i średnio-ławicowej IIs , podobnie jak litoklasty skał ilasto-okruchowych (odmiana Io_{bl}). Ważnym czynnikiem wpływającym na rozwój procesów diagenetycznych jest również uziarnienie osadu (Stück i in. 2013). W analizowanych piaskowcach jurajskich w zależności od warunków depozycji obserwowane jest znaczne zróżnicowanie cech teksturalno-strukturalnych (zał. nr 2). Piaskowce strefy przybrzeżnej to na ogół gruboziarniste pyłowce (część preparatów odmiany IVo_{bl}), bardzo drobnoziarniste piaskowce (odmiana IIo_{bl} , $IIIo_{bl}$ i część preparatów odmiany IVo_{bl}), a tylko podrzędnie drobnoziarniste piaskowce (odmiana Io_{bl} i Is_{bl} – częściowo piaskowce brzegowe). Piaskowce deltowe (odmiana Ib_{bl} , IIb_{bl}) wykazują natomiast wyłącznie drobne uziarnienie.

Do podstawowych przemian diagenetycznych, których przejawy stwierdzane były w piaskowcach dolnej jury należą kompaktacja, cementacja i rozpuszczanie (Kozłowska, Kuberska 2014). Obserwacje mikroskopowe analizowanych w pracy odmian piaskowców wykazały, iż największą rolę w kształtowaniu ich właściwości fizyczno-mechanicznych odgrywały kompaktacja i cementacja, przy mniejszym natężeniu procesów rozpuszczania i przeobrażania składników.

Kompaktacja mechaniczna oraz chemiczna prowadzą do zagęszczenia osadu (Lorenc 1996) i ograniczenia jego pierwotnej porowatości (Houseknecht 1987). Pierwsza z nich skutkuje wzrostem udziału prostych i punktowych kontaktów ziarn, druga występowaniem kontaktów wkłęsło-wypukłych i zazębających (Maliszewska 1996). Przejawy kompaktacji obserwowane są w piaskowcach w postaci zróżnicowanego stopnia upakowania materiału detrytycznego (Kozłowska i Kuberska 2014) oraz deformacji składników podatnych na odkształcenia mechaniczne (Połowska 2010). Badania różnowiekowych piaskowców środkowoeuropejskich, prowadzone przez Stücka i in. (2013) wykazały, iż wraz ze wzrostem udziału kontaktów wkłęsło-wypukłych i suturowych wzrasta wytrzymałość skał na ściskanie. W analizowanych w pracy odmianach piaskowców jurajskich przeważają kontakty punktowe i proste, świadczące o dominującej roli kompaktacji mechanicznej. Efekty działalności tego procesu obserwowane są również w postaci silnie powyginanych blaszek miki (odmiana IIo_{bl} , próbki gru-

boziarnistych pyłowców odmiany IVo_{bl}), a w odmianie Io_{bl} – zdeformowanych litoklastów ilasto-okruchowych. Kozłowska i Kuberska (2014) podają, iż za ograniczenie rozwoju kompaktacji chemicznej w piaskowcach dolnej jury odpowiada prawdopodobnie ich wczesna krzemionkowa cementacja. Poglądy te zbieżne są z wynikami badań piaskowców jurajskich prowadzonych przez Sommera (1978), w rejonie znanego z występowania złóż węglowodorów Rowu Wikingów (Morze Północne). Również w analizowanych w pracy odmianach piaskowców o spoiwie regeneracyjnym krzemionkowym (w tym odmiany Ilo_{bl} , Is_{bl} , Ib_{bl} i Ilb_{bl}) stwierdzono obecność znacznych rozmiarów przestrzeni porowej. Lokalnie są one wypełnione amorficznymi związkami żelaza, nadającymi skale zróżnicowane zabarwienie (żółte, różowe, czerwone). Wzrost udziału kontaktów wklęsło-wypukłych, wskazujący na większe zaawansowanie procesów kompaktacji chemicznej, obserwowany jest w blocznych piaskowcach strefy przybrzeżnej odmian $IIIo_{bl}$ i IVo_{bl} oraz w cienko i średnioławicowych piaskowcach odmiany IIs , Vo (z wyjątkiem piaskowców ze złoża Kraszków-1) i $IIIb$. Potwierdza to prawidłowość, iż podatność na kompaktację spada wraz ze wzrostem grubości ziarna (Füchtbauer 1974). W grupie badanych skał wyjątek stanowią piaskowce odmiany Ilo_{bl} , w których pomimo bardzo drobnego uziarnienia obserwowane są znacznych rozmiarów przestrzenie porowe, częściowo wypełnione spoiwem żelazistym. W piaskowcach tej odmiany obserwowany jest podwyższony udział łyszczyków oraz spoiwa typu matrix.

Procesem, który miał bardzo ważny wpływ na kształtowanie właściwości fizyczno-mechanicznych piaskowców była cementacja. W jej wyniku doszło do powstania regeneracyjnych obwódek krzemionkowych na ziarnach kwarcu, których udział w wyróżnionych odmianach piaskowców waha się od 0,6 do 11,2%. Ten rodzaj cementu stwierdzany jest w osadach dolnej jury najczęściej, a jego zawartość kształtuje się na poziomie do 20,7% obj. w piaskowcach rejonu Bełchatowa (Kozłowska i in. 2010) i zwykle około 15% obj. w wybranych otworach położonych na Niziu Polskim (Kozłowska i Kuberska 2014). Brak dowiędzania prezentowanych w wymienionych pracach wyników badań do konkretnych formacji litostratygraficznych uniemożliwia jednak przeprowadzenie bardziej szczegółowych porównań. Badania analizowanych w pracy odmian piaskowców wykazały ścisły związek ich parametrów fizyczno-mechanicznych, w tym w szczególności wytrzymałości na ściskanie i prędkości fali podłużnej, z udziałem regeneracyjnej krzemionki w spoiwie. Najkorzystniejsze właściwości wykazują piaskowce bloczne odmiany Ilb_{bl} , Io_{bl} , $IIIo_{bl}$ i IVo_{bl} (próbki drobnoziarnistych pyłowców), a spośród piaskowców cienko- i średnioławicowych – odmiany IIs , Vo (za wyjątkiem złoża Kraszków-1) oraz $IIIb$, w których udział tego spoiwa dochodzi na ogół do 8–11% obj. Są to na ogół arenity kwarcowe, podczas gdy w arenitach sublitycznych (zawartość litoklastów i łyszczyków powyżej 5% obj.) odmiany Ilo_{bl} , IVo_{bl} (próbki gruboziarnistych pyłowców) i Ib_{bl} , o większym udziale spoiwa ilastego udział regeneracyjnej krzemionki jest na ogół mniejszy. W przypadku tych drugich, większy niż w pozostałych odmianach udział allochtonicznego spoiwa ilastego ograniczył prawdopodobnie przestrzeń, w której cementy te mogły krystalizować. Należy nadmienić, iż zawartość krzemionki w omawianych skałach może być nieco wyższa od podawanej, gdyż granica między ziarnem detrytycznym a obwódką regeneracyjną, w szczególności w skałach o bardzo drobnym

uziarnieniu, w tym bardzo gruboziarnistych pyłowcach i bardzo drobnoziarnistych piaskowcach, nie zawsze jest dobrze widoczna. W badanych preparatach tylko sporadycznie podkreślają ją nagromadzenia związków żelaza. Z drugiej strony część obserwowanych obwódek regeneracyjnych może mieć charakter reliktyw, pochodzących z redeponowanych, starszych osadów. W takiej sytuacji udział autogenicznej krzemionki w analizowanych piaskowcach będzie odpowiednio niższy. Źródłem krzemionki krystalizującej w formie obwódek mogą być m.in. roztwory porowe, a także procesy rozpuszczania ziaren detrytycznego kwarcu, przemiany skaleni i łyszczyków oraz rozpuszczanie pelitu kwarcowego (Barczuk 1979). Do pozostałych cementów, których obecność stwierdzono w trakcie badań mikroskopowych, należy cement żelazisty oraz ilasty (autigeniczny cement kaolinitowy, sporadycznie chloryty), a tylko w przypadku odmiany Ilo_{bl} są to nieznaczne ilości kalcytu. W analizowanych próbkach nie występuje natomiast, miejscami dość obfity w osadach jury na Niżu Polskim, cement sydereytowy (Kozłowska i Kuberska 2014). Korzystny wpływ na właściwości piaskowców mają lokalnie obserwowane większe koncentracje hematytu (odmiana IIs , a w niewielkich ilościach również Is_{bl}), a także agregaty hematytowo-goethytowe (wypełniające spękania w odmianie Vo ze złoża Kraszków-1), zabudowujące częściowo przestrzeń porową. Obserwowane w skałach odmiany IIs narastanie tego minerału na powierzchni krzemionkowych obwódek regeneracyjnych, świadczy o późniejszym czasie jego powstawania. Cementy ilaste występują w piaskowcach podrzędnie. Reprezentowane są głównie przez autigeniczny kaolinit wykształcony najczęściej w postaci płytkowych agregatów, rzadziej tworzący formy robakowate. Sporadycznie spotykane są również chloryty. Występowanie cementów ilastych nie ma wpływu na usztywnienie szkieletu ziarnowego skały, prowadzi natomiast do redukcji jej porowatości.

Pozostałe procesy diagenetyczne, czyli rozpuszczanie i przeobrażanie, mają mniejsze znaczenie w kształtowaniu właściwości fizyczno-mechanicznych piaskowców. Dotyczą one głównie wykazujących przejawy zaawansowanych procesów kaolinityzacji, rzadziej serycytyzacji, skaleni (obserwowanych w większych ilościach w odmianie Ib_{bl}). Składniki te ulegają rozpuszczaniu pod wpływem oddziaływania lekko kwaśnych roztworów porowych (Bjørlykke 1989), a z uwalnianych jonów krzemu i glinu powstaje kaolinit (Osborne i in. 1994). Niewykorzystany w tym procesie nadmiar krzemu (Kozłowska i Kuberska 2014) w warunkach sprzyjającego pH i Eh krystalizuje natomiast w formie regeneracyjnych obwódek kwarcowych. Procesom przeobrażania poddawane zostały również łyszczyki, tworzące większe nagromadzenia w sublitycznych arenitach odmiany Ilo_{bl} , a częściowo IVo_{bl} i Ib_{bl} , ulegające kaolinityzacji (muskowit), bądź sporadycznie chlorytyzacji (biotyt). W miejscach, w których dochodziło do rozpuszczania składników, nastąpił rozwój wtórnej porowatości. Z uwagi na niewielką skalę tego zjawiska nie miało to jednak większego wpływu na właściwości fizyczno-mechaniczne analizowanych skał. Podobnie jak w innych piaskowcach jurajskich występujących na Niżu Polskim, dominuje w nich porowatość pierwotna, oceniana dla skał tego obszaru przez Kozłowską i Kuberską (2014) na co najmniej 20%.

9. Podsumowanie

Przeprowadzone badania jurajskich piaskowców północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, pochodzących z 15 eksploatowanych w ostatnich latach złóż, pozwoliły wykazać wpływ zróżnicowania litologicznego tych skał na możliwości ich gospodarczego wykorzystania. Cel pracy został zrealizowany przez zastosowanie metodyki badań obejmujących terenowe obserwacje wykształcenia litologicznego piaskowców oraz laboratoryjne badania petrograficzne i właściwości fizyczno-mechanicznych.

Wyróżniono dziesięć odmian piaskowców, reprezentujących trzy formacje dolnej jury, tj. skłobską (odmiana Is_{bl} , IIs), ostrowiecką (odmiana Io_{bl} , Ilo_{bl} , $IIIo_{bl}$, IVo_{bl} , Vo) i borucicką (odmiana Ib_{bl} , Ilb_{bl} , IIb). Spośród siedmiu analizowanych odmian blocznych, wydzielonych w profilach dziesięciu złóż, dwie powstawały w środowisku deltowym (Ib_{bl} , Ilb_{bl}), a pozostałych pięć w strefie brzegowej oraz różnych strefach przybrzeża (szelf silikoklastyczny płytszy – Is_{bl} , Io_{bl} , Ilo_{bl} , $IIIo_{bl}$, IVo_{bl}). Ustalenie warunków sedimentacji trzech odmian cienkoławicowych, występujących w obrębie każdej z analizowanych formacji jury dolnej (łącznie w profilach ośmiu złóż), możliwe było tylko częściowo. Piaskowce odmiany IIs oraz Vo ze złóż Tresta Wesoła I, -IV zaliczono do osadów brzegowych i przybrzeżnych, piaskowce odmiany Vo ze złóż Mroczków Gościnnny-2, -6 oraz Kraszków-1 to prawdopodobnie osady przybrzeżne, deltowe lub rzeczne. Nie ustalono również jednoznacznie genezy skał odmiany IIb (obserwacje terenowe wskazują na środowisko płytkomorskie lub deltowe).

Zastosowany w pracy podział na odmiany bloczne i niewykazujące przydatności do produkcji bloków umożliwił porównanie właściwości użytkowych skał w obrębie tych dwóch grup, w tym ich walorów dekoracyjnych i właściwości fizyczno-mechanicznych oraz ustalenie przyczyn ich zróżnicowania w nawiązaniu do określonych warunków sedimentacji i diagenety, a także – w mniejszym stopniu – do późniejszych zmian wietrzeniowych.

Spośród analizowanych odmian piaskowców blocznych najkorzystniejsze właściwości użytkowe wykazują piaskowce akumulowane w strefie szelfu silikoklastycznego płytszego (od górnego po dolne przybrzeże). Na wysoko oceniane parametry jakościowe tych skał wpływa szereg cech sedimentacyjno-litologicznych, w tym ich średnie, grube i bardzo grube uławicenie (lokalnie amalgamacja ławic), drobne uziarnienie (od gruboziarnistych pyłowców po drobnoziarniste piaskowce) oraz rodzaj występujących struktur sedimentacyjnych. Wysoką przydatność do produkcji płyt okładzinowych, z uwagi na jasnoszarą i jasnożółtą, jednolitą barwę skały oraz brak wyraźnych struktur wewnętrznych lub słabo wyraźną

laminację, posiadają piaskowce odmian Io_{bl} i IVo_{bl} . Skały te występują jednak podrzędnie w profilach analizowanych złóż, w tym w złożu Sielec I (odmiana Io_{bl}) oraz w złożach Sielec II, -IV, Żarnów 1 i Tresta Wesoła I (odmiana IVo_{bl}). Większe rozprzestrzenienie (złoża Sielec I, -IV, Tresta Wesoła I, Żarnów-1), lecz jednocześnie ograniczoną przydatność do produkcji płyt okładzinowych wykazują piaskowce odmiany $IIIo_{bl}$. Są to skały o jasnożółtej i jasnoszarej barwie, laminowane poziomo, z podrzędnie występującą laminacją przekątną niskokątową i kopułową oraz lokalnie obserwowanymi powierzchniami rozmycia wewnątrzławicowego. Charakterystyczna dla piaskowców odmiany $IIIo_{bl}$ jest obecność smug substancji ilastej i łyszczyków, stanowiących materiał mniej odporny na działanie czynników atmosferycznych. Składniki te podczas cięcia skały często ulegają wykruszeniu, powodując powstawanie makroskopowo widocznych pustek. Na powierzchni płyt okładzinowych przeciętych wzdłuż uławicenia widoczne są ponadto liczne smugi o ciemniejszym zabarwieniu (łuki przyrostowe riplemarków). Cechy te powodują, iż pomimo znacznych możliwości pozyskania bloków piaskowce odmiany $IIIo_{bl}$ wykorzystywane są głównie w formie kamienia murowego, bądź też pociętych mniejszych kształtek, czyli tzw. boniówki. Ostatnia z wyróżnionych odmian blocznych piaskowców formacji ostrowieckiej to odmiana IIo_{bl} , o charakterystycznym układzie wielobarwnych, poziomych lamin, stanowiąca atrakcyjny wizualnie kamień architektoniczny. Jej występowanie ograniczone jest jednak wyłącznie do profilu złoża Sielec IV. Spośród piaskowców o teksturze kierunkowej korzystne walory dekoracyjne posiadają również skały odmiany Is_{bl} . Są to osady przybrzeżne i brzegowe formacji skłobskiej, stwierdzone w profilu złoża Wolica II. Piaskowce odmiany Is_{bl} charakteryzują się drobnym uziarnieniem, na ogół płaską laminacją oraz jasnoszarą i jasnożółtą barwą, zazwyczaj z odcieniem różowym. W tym przypadku niekorzystny wpływ na możliwości gospodarczego wykorzystania piaskowców ma obecność wkładek o laminacji przekątnej, podkreślonej lokalnie znaczną zawartością substancji ilastej.

Omawiane piaskowce strefy przybrzeżnej płytkiego morza szelfowego posiadają na ogół korzystne właściwości fizyczno-mechaniczne. Wśród nich najwyższą gęstością objętościową (zwykle $2,05\text{--}2,06\text{ Mg/m}^3$), wytrzymałością na ściskanie (zwykle powyżej 40 MPa), oraz prędkością fali podłużnej (do 3 869 m/s), przy najniższych wartościach nasiąkliwości wagowej (zwykle $6,9\text{--}7,2\%$) i objętościowej (zwykle $14,2\text{--}14,7\%$) charakteryzują się arenity kwarcowe odmiany $IIIo_{bl}$ i IVo_{bl} , o bardzo drobnym uziarnieniu. Omawiane odmiany piaskowców to skały o wysokiej zawartości kwarcu (nawet do 92,1% obj.), w których udział regeneracyjnego spoiwa krzemionkowego stanowi nawet 14–15% obj. Korzystne parametry wytrzymałościowe (średnio 48,80 MPa), przy nieco słabszych wynikach pozostałych oznaczeń (gęstość $2,01\text{ Mg/m}^3$, nasiąkliwość wagowa około 8,1%, prędkość fali podłużnej do 2520 m/s) wykazują również drobnoziarniste arenity kwarcowe i częściowo sublityczne odmiany Io_{bl} . Są to skały o większej zawartości litoklastów ilasto-okruchowych (do 4% obj.) oraz spoiwa typu matrix (5–7% obj.). Wyraźne obniżenie parametrów jakościowych widoczne jest w skałach odmiany Is_{bl} , IIo_{bl} oraz w części prób odmiany IVo_{bl} , zaliczonych do gruboziarnistych pyłowców. Skały te charakteryzują się przede wszystkim niższą wytrzymałością na ściskanie (średnio $31,2\text{--}31,6\text{ MPa}$) oraz mniejszymi prędkościami fali podłużnej

(do 2285 m/s). Wpływ na to ma w szczególności podwyższona zawartość łyszczyków (do 5% obj. w piaskowcach odmiany Πo_{bl} i do 7% obj. w gruboziarnistych pyłowcach odmiany IVo_{bl}) oraz spoiwa typu matrix (do 4% obj. w piaskowcach odmiany Πo_{bl} i Is_{bl} , do 8% obj. w gruboziarnistych pyłowcach odmiany IVo_{bl}). W analizowanych piaskowcach tych odmian stwierdzono ponadto mniejszą zawartość regeneracyjnego spoiwa krzemionkowego (odpowiednio 5–8% obj. w odmianie Is_{bl} i Πo_{bl} , a nawet niespełna 3% obj. w odmianie IVo_{bl}).

Bloczne piaskowce deltowe reprezentowane są przez dwie odmiany (Ib_{bl} i Ilb_{bl}) o zróżnicowanych właściwościach użytkowych. Skały te charakteryzują się regularnym, średnim i grubym uławiceniem, oraz drobnym uziarnieniem, jednak złożona budowa wewnętrzna ławic (laminacja pozioma, przekątna, warstwowanie soczewkowe) powoduje, iż pozyskiwany materiał skalny wykazuje często dużą niejednorodność. W piaskowcach analizowanych odmian obserwowane są przejawy zaawansowanych zjawisk wietrzeniowych, zaznaczające się w postaci znacznego zróżnicowania zwięzłości piaskowców oraz obecności wielobarwnych pierścieni Lieseganga. Dodatkowo w obrębie piaskowcowych ławic obserwowane są wkładki z nagromadzeniem związków żelaza, w postaci ciągłych horyzontów i żyłek o dużej twardości. Znaczne zróżnicowanie stopnia zwięzłości analizowanych skał (od rozsyplywych po silnie scementowane) powoduje, iż część wydobywanej kopaliny nie wykazuje przydatności do produkcji płyt okładzinowych. Piaskowce charakteryzują się znaczną zmiennością barwy i zróżnicowanymi walorami dekoracyjnymi. Obecność lokalnych koncentracji związków żelaza, w tym hematytu, które mogą zostać wypłukane, ogranicza możliwości aplikacyjne materiału pozyskiwanego z niektórych części ławic do zastosowań we wnętrzach.

Spośród analizowanych odmian piaskowców deltowych korzystniejsze właściwości fizyczno-mechaniczne, w tym większą gęstość objętościową (średnio 2,08 Mg/m³), wytrzymałość na ściskanie (średnio 43,39 MPa), oraz prędkość fali podłużnej (do 3 542 m/s), przy najniższych wartościach nasiąkliwości wagowej (średnio 6,8%) i objętościowej (średnio 14,2%), wykazują arenity kwarcowe odmiany Ilb_{bl} . Skały te charakteryzują się wyższą zawartością kwarcu (do 83% obj.) oraz nawet trzykrotnie większym niż w odmianie Ib_{bl} udziałem regeneracyjnego cementu krzemionkowego (9–13% obj.). W podrzędnej ilości występuje w nich natomiast spoiwo typu matrix (do 1% obj.). Pomimo stosunkowo słabego upakowania składników ziarnowych obwódki regeneracyjne są w miarę dobrze rozwinięte. Dodatkowo znacznych rozmiarów przestrzeń porowa ograniczona jest przez nagromadzenia agregatów hematytu, związków manganu, wpływając na niższe wartości nasiąkliwości oraz większą gęstość objętościową i prędkość fali podłużnej. Nagromadzenia hematytu powodują również lokalnie silniejszą cementację skały. W odróżnieniu od nich skały odmiany Ib_{bl} wykazują niższą zawartość kwarcu, przy większym udziale na ogół silnie zwiertzałych skaleni, z przejawami zaawansowanej kaolinityzacji. Spoiwo żelaziste i ilaste zdecydowanie dominuje nad krzemionkowym, stąd też podczas cięcia skały na płyty słabiej związane ziarna kwarcu wypłukiwane są wraz ze składnikami ilastymi, pozostawiając makroskopowo obserwowane pory. Piaskowce odmiany Ib_{bl} charakteryzują się bardzo słabymi właściwościami fizyczno-mechanicznymi i z uwagi na lokalnie niewielką zwięzłość oraz słabe parametry wytrzymałościowe w zasadzie nie są przydatne do produkcji płyt okładzinowych.

Reasumując, na podstawie uzyskanych wyników badań ustalono, iż korzystne właściwości użytkowe posiadają odmiany blocznych piaskowców płytkiego szelfu silikoklastycznego (od górnego po dolne przybrzeże) o drobnym i bardzo drobnym uziarnieniu, na ogół dobrym wysortowaniu składników, stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu oraz spoiwie zbudowanym głównie z regeneracyjnej krzemionki, z silniej zaznaczającymi się przejawami kompaktacji mechanicznej, rzadziej chemicznej. Tylko podrzędnie takie wykształcenie wykazują odmiany blocznych piaskowców deltowych. Na ogół jednak skały te, podobnie do części analizowanych w pracy odmian piaskowców przybrzeżnych i brzegowych, charakteryzują się większą zawartością składników niestabilnych mechanicznie lub chemicznie, w tym łyszczyków, litoklastów ilasto-okruchowych, a podrzędnie również skaleni, spadkiem udziału regeneracyjnej krzemionki na rzecz spoiwa typu matrix oraz ilastego oraz obecnością zaawansowanych procesów rozpuszczania i przeobrażania skaleni oraz łyszczyków. Czynniki te wpływają na pogorszenie właściwości fizyczno-mechanicznych analizowanych w pracy odmian piaskowców, prowadząc głównie do obniżenia ich wytrzymałości na ściskanie oraz prędkości fali podłużnej.

Korzystne właściwości użytkowe wykazują na ogół analizowane w pracy piaskowce odmian cienko- i średnioławicowych, nieprzydatne jako kamień bloczny. Skały te posiadają najczęściej wyższą niż w odmianach blocznych gęstość objętościową (do $2,21 \text{ Mg/m}^3$), niższą nasiąkliwość wagową i objętościową (odpowiednio nawet około 4,9% i 10,81%), a ich wytrzymałość na ściskanie osiąga maksymalnie nawet około 69 MPa. Na korzystne parametry fizyczno-mechaniczne piaskowców wpływa stosunkowo wysoka zawartość spoiwa krzemionkowego (na ogół powyżej 10% obj.), a lokalnie również żelazistego (głównie hematytu) oraz ich bardzo drobne uziarnienie. Istotne znaczenie ma również ściśle upakowanie szkieletu ziarnowego analizowanych skał.

Autorka składa podziękowania dr hab. inż. Krzysztofowi Galosowi oraz Recenzentom za poświęcony czas i cenne uwagi dotyczące treści monografii i jej formy. Autorka dziękuje również dr inż. Beacie Figarskiej-Warchoł z Akademii Górniczo-Hutniczej za pomoc w realizacji badań laboratoryjnych. Wyrazy wdzięczności autorka kieruje ponadto do firm eksploatujących złoża piaskowców w województwie łódzkim, które wyraziły zgodę na wejście na teren poszczególnych kopalń oraz wykonanie pomiarów terenowych oraz przekazały część wykorzystanych w pracy fotografii obiektów architektonicznych.

Literatura

- Bała M. 2009 – *Badanie wpływu anizotropii i zailenia na prędkości rozchodzenia się fal podłużnych i poprzecznych oraz innych parametrów sprężystych skał klastycznych*. Zeszyty Nauk. AGH. Geologia t. 35, z. 2/1, s. 559–566.
- Bann K.L., Fielding C.R. 2004 – *An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units in Australia* [W:] The Application of Ichnology to paleoenvironmental and Stratigraphic Analysis (red. D. McIlroy) Geol. Soc. London Spec. Publ. 228, s. 273–310.
- Barczuk A. 1979 – *Studium petrograficzne utworów pstrego piaskowca w północno-wschodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich*. Archiw. Miner. t. 35, z. 2, s. 87–146.
- Basista S., Krynicki T. 1981 – *Właściwości petrofizyczne niektórych skał monokliny przedsudeckiej*. Przegląd Geologiczny t. 29, nr 4, s. 185–190.
- Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce według stanu na 31.12.2015 r. (oraz wydania poprzednie)* Wyd. PIG-PIB, Warszawa 2016.
- Bjørlykke K. 1983 – *Diagenetic reactions in sandstones* [W:] Parker A., & Sellwood B.W. red. Sediment Diagenesis. NATO ASI Series, C, 155, s. 169–214. Reidel, Dordrecht.
- Bjørlykke K. 1989 – *Sedimentology and petroleum geology*. Springer Verlag, Berlin, s. 363.
- Brański P. 2008 – *Problem genezy kaolinitu w dolnojurajskich ilach ceramicznych i ogniotrwałych z regionu świętokrzyskiego*. Biuletyn PIG 429, s. 13–21.
- Brański P. 2010 – *Geneza osadów ilastych formacji ciechocińskiej (jura dolna, toark) w południowej Polsce a ich znaczenie gospodarcze*. Biuletyn PIG 439, s. 249–258.
- Bromowicz J. 1997 – *Właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców ropianieckich jednostki skolskiej i magurskiej na tle ich litologii*. Materiały II Konferencji Naukowej „Badania podstawowe w geologii złóż surowców skalnych Sudetów, Karpat i Gór Świętokrzyskich”. Kraków–Mogilany 25–26 września 1997, s. 15–23.
- Bromowicz J., Figarska-Warchoł B. 2010 – *Raport z badań nad zmianami właściwości skał wywołanych zamrozem*. Prace Nauk. Instytut. Górn. Politechn. Wrocł. t. 130, nr 37, s. 41–55.
- Bromowicz J., Figarska-Warchoł B. 2012 – *Kamienie dekoracyjne i architektoniczne południowo-wschodniej Polski – złoża, zasoby i perspektywy eksploatacji*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management t. 28, z. 3, s. 5–22.
- Czarnocki 1951 – *Z zagadnień paleogeograficznych i złożowych cechsztynu w Polsce*. Prace Inst. Geol., 7, s. 19–27.
- Dadlez R. 1962 – *Odpowiedniki warstw połomskich liasu częstochowskiego w zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich*. Kwartalnik Geologiczny t. 6, nr 3, s. 447–459.

- Dadlez R. 1973 – *Jura dolna. Ogrzeżenie Gór Świętokrzyskich* [W:] Budowa Geologiczna Polski, t. 1, cz. 2. Wyd. Geol., Warszawa.
- Dadlez R. 1978 – *Stan litostratygrafii epikontynentalnej dolnej jury w Polsce i propozycje jej usystematyzowania*. Kwartalnik Geologiczny t. 22, nr 4, s. 773–790.
- Dadlez R. 2006 – *The Polish Basin – relationships between the crystalline, consolidated and sedimentary crust*. Geol. Quart. Vol. 50, s. 43–57.
- Dadlez R., Feldman-Olszewska A., Kopik J., Matyja B.A., Pieńkowski G. 2008 – *Jura* [W:] *Tabela stratygraficzna Polski. Polska pozakarpacka*. Wagner R. red. PIG Warszawa.
- Dadlez R., Kowalczewski Z., Znosko J. 1994 – *Some key problems of the pre-Permian tectonics of Poland*. Geol. Quart. Vol. 38, s. 169–189.
- Dadlez R., Marek S., Pokorski J. 2000 – *Mapa Geologiczna Polski bez utworów kenozoiku. Skala 1: 100 000*, PIG Warszawa.
- Dadlez R., Narkiewicz M., Stephenson R.A., Visser M.T.M. 1994 – *Subsydencja bruzdy śródpolskiej w permie i mezozoiku*, Przegląd Geologiczny t. 42, nr 9, s. 715–720.
- Deczkowski Z. 1997 – *Jura dolna* – [W:] Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. Marek S., Pajchłowa M. red., Prace Państw. Inst. Geol. 153, s. 452.
- Dekowski J.P. 1983 – *Opoczno i okolice – Przewodnik turystyczno-krajoznawczy*. Wyd. PTTK Kraj. Warszawa.
- Dott R.H., Bourgeois J. 1982 – *Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences*. Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 93, s. 663–680.
- Dziedzic A. 2005 – *Ocena cech strukturalnych piaskowców krośnieńskich z Mucharza (Beskid Mały) na podstawie pomiarów prędkości fali podłużnej*. Przegląd Geologiczny t. 53, nr 7, s. 601–604.
- Feldman-Olszewska A., Adamczak T., Szewczyk J. 2010 – *Charakterystyka poziomów zbiornikowych i uszczelniających w obrębie struktur Zaosia i Jeżowa pod kątem geologicznego składowania CO₂ na podstawie danych z głębokich otworów wiertniczych*. Biuletyn PIG 439, s. 17–28.
- Figarska-Warchoł B., Stańczak G. 2016 – *Wpływ petrograficznego zróżnicowania piaskowców krośnieńskich na ich właściwości fizyczno-mechaniczne w złożach Górka–Mucharz i Skawce (Beskid Mały)*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN nr 96, s. 37–55.
- Folk R.L., Ward W.C. 1957 – *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Jour. Sedim. Petrol., 27, s. 3–26.
- Füchtbauer H. 1974 – *Some problems of diagenesis in sandstones*. Bull. Cent. Rech. Pau. SNPA. 8, s. 391–403.
- Gallagher E.L., Elgar S., Thornton E.B. 1998 – *Megaripple migration in a natural surfzone*. Nature 394, s. 165–168.
- Galos K. 2010 – *Wpływ składu mineralnego wybranych ilów na właściwości tworzyw gresowych*. Studia, Rozprawy, Monografie nr 161, Wyd. IGSMiE PAN, s. 172.
- Gągor J. red. 1996 – *Kamienie budowlane w Polsce*. Państw. Inst. Geol. Warszawa–Kielce.
- Gierliński G., Pieńkowski G. 1999 – *Dinosaur track assemblages from the Hettangian of Poland*. Geol. Quart. 43, s. 329–346.
- Gierliński G., Płoch I., Sabath K., Ziaja J. 2006 – *Zagadkowa roślina z wczesnej jury Gór Świętokrzyskich*. Przegląd Geologiczny t. 54, nr 2, s. 139–141.
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R. 1986 – *Zarys sedymentologii*. Wyd. Geol. Warszawa.

- Grzybowski K., Kutek J. 1967 – *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Lubień (738)*. PIG Warszawa.
- Guzik K. 2013a – *Zróżnicowanie litologiczne piaskowców jurajskich i kredowych NW obrzeżenia Gór Świętokrzyskich w kontekście ich przydatności w budownictwie*. Prace Nauk. Inst. Górn. Pol. Wroc. Górnictwo i Geologia, 43, s. 73–83.
- Guzik K. 2013b – *Nowe spojrzenie na piaskowce świętokrzyskie*. Surowce i Maszyny Budowlane z. 4, s. 40–45.
- Guzik K. 2016a – *Piaskowce formacji ostrowieckiej północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich – zmienność litologii i parametrów fizyczno-mechanicznych a możliwości surowcowego wykorzystania*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN nr 92, s. 89–105.
- Guzik K. 2016b – *Piaskowce formacji ostrowieckiej okolic Opoczna i Żarnowa jako kamień architektoniczny*. Mining Science t. 23, z. 1, s. 59–71.
- Hakenberg M., Świdrowska J. 1998 – *Rozwój południowo-wschodniego segmentu bruzdy polskiej i jego związek ze strefami uskoków ograniczających (od permu do późnej jury)*. Przegląd Geologiczny t. 46, nr 6, s. 503–508.
- Houseknecht D.W. 1987 – *Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones*, AAPG Bull. 71, s. 633–642.
- Janiec J. 1988 – *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Żarnów (739)*, PIG Warszawa.
- Janiec J. 1993 – *Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Żarnów (739)*. PIG Warszawa. s. 77.
- Jurkiewiczowa 1962 – *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Czeremo*. Inst. Geol. Warszawa.
- Jurkiewiczowa I. 1967 – *Lias zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i jego paralelizacja z liasem Wyżyny Krakowsko – Częstochowskiej. Z badań stratygraficzno-paleontologicznych w Polsce*, t. 2, Biuletyn Inst. Geol. 200, s. 5–132.
- Kamiński M., Kubicz A. 1962 – *Kwasoodporność piaskowców Gór Świętokrzyskich i Dolnego Śląska na tle ich własności petrograficznych*. Biuletyn PIG 178, 115 s.
- Kanciruk A. 2008 – *Metoda pomiaru prędkości fal ultradźwiękowych w próbkach skalnych podczas testów laboratoryjnych*. Kwartalnik AGH, Górnictwo i Inżynieria. r. 32. z. 1, s. 129–138.
- Karaszewski W. 1947 – *Sprawozdanie z badań nad utworami retyko-liasu w rejonie na zachód od Skarżyska w 1946 r.* Biuletyn PIG 31, s. 70–89.
- Karaszewski W. 1960 – *Nowy podział liasu świętokrzyskiego*. Kwartalnik Geologiczny t. 4, nr 4, s. 899–920.
- Karaszewski W. 1962 – *Stratygrafia liasu w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich*. Prace Inst. Geol. 30, 3, s. 333–416.
- Karaszewski W., Kopik J. 1970 – *Jura dolna*. Prace Inst. Geol., 56, s. 65–98.
- Karnkowski H.P. 2008 – *Regionalizacja tektoniczna Polski – Niż Polski*. Przegląd Geologiczny t. 56, nr 10, s. 895–903.
- Klityński W., Stelmach K., Stefaniuk M., Karczewski J. 2014 – *Rozpoznanie złoża piaskowców budowlanych z wykorzystaniem geofizycznych badań elektrooporowych i georadarowych*. Przegląd Geologiczny t. 62, nr 10/2 s. 621–628.

- Kłopotowska A.K. 2011 – *Odporność piaskowca szydlowieckiego na krystalizację soli w aspekcie wzmacniania strukturalnego*. Kwartalnik AGH, Górnictwo i Geoinżynieria. r. 35. z. 2.
- Kobylec K. 2008 – *Dolnojurajskie piaskowce z okolic Przysuchy–Opoczna, ich wykształcenie i możliwości wykorzystania*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management t. 24, z. 2/1, Wyd. IGSMiE PAN, s. 59–72.
- Kopik J. 1960 – *O kilku morskich małżach z serii gielniowskiej liasu świętokrzyskiego*. Kwartalnik Geologiczny t. 4, nr 1, Warszawa, s. 95–104.
- Kozłowska A., Kuberska M. 2014 – *Diogeneza a porowatość piaskowców jury dolnej na Niżu Polskim*. Biuletyn PIG 458, s. 39–60.
- Kozłowska A., Kuberska M., Pańczyk M., Sikorska M. 2010 – *Przestrzeń porowa piaskowców jury dolnej w rejonie Bełchatowa*. Biuletyn PIG 439, s. 37–46.
- Kozłowski S. red. 1986 – *Surowce skalne Polski*. Wyd. Geol. Warszawa.
- Kozydra Z. 1962 – *Kontakt triasu i jury w otworze wiertniczym Eugeniów koło Gowarczowa*. Kwartalnik Geologiczny t. 6, nr 3. Warszawa
- Kozydra Z. 1968 – *Złoża dolnojurajskich ilów ogniotrwałych na tle ogólnej budowy geologicznej północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich*. Biuletyn Inst. Geol., t. 216, s. 94.
- Kozydra Z., Wyrwicki R. 1968 – *Ogólna charakterystyka chemiczna mezozoicznych i kenozoicznych skał ilastych Polski*. Biuletyn Inst. Geol., t. 223, s. 91–117.
- Krajewski R. 1947 – *Złoża żelaziaków ilastych we wschodniej części powiatu koneckiego*. Biuletyn PIG t. 26, s. 134.
- Krystek M. 2009 – *Badania petroarcheologiczne i petroarchitektoniczne romańskich kościołów w Inowłodzu i Żarnowie*. Przegląd Geologiczny t. 57, nr 4, s. 304–305.
- Krystek M. 2010 – *Zróżnicowanie, wykorzystanie i pochodzenie piaskowców w budowach romańskich regionu łódzkiego*. Rozprawa doktorska. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza. Instytut Geologii. Poznań 2010, s. 163.
- Kurowski L. 2002 – *Wpływ dynamiki falowania na zmiany w strefie plaży zewnętrznej na przykładzie wybrzeża Bałtyku między Mrzeżynem i Dźwirzynem*. Przegląd Geologiczny t. 50, nr 11, s. 1115–1120.
- Lorenc S. 1996 – *Diogeneza osadów (wprowadzenie do rozważań szczegółowych)*. Przegląd Geologiczny t. 44, nr 6.
- Maliszewska A. 1996 – *Wybrane zagadnienia diagenety skał klastycznych*. Przegląd Geologiczny t. 44, nr 6, s. 586–595.
- Marcinkiewicz T. 1957 – *Liasowe megaspory z Praszki, Zawiercia i Gór Świętokrzyskich*. Kwartalnik Geologiczny t. 1, nr 2, s. 299–302.
- Marcinkiewicz T., Fijałkowska-Mader A., Pieńkowski G. 2014 – *Poziomy megasporowe epikontynentalnych utworów triasu i jury w Polsce – podsumowanie*. Biuletyn Inst. Geol. 457, s. 15–42.
- MIDAS – Baza danych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego.
- Mucha J. 1994 – *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*. Wyd. AGH. Kraków.
- Muszyński M. 2008 – *Skały epiklastyczne [W]: Przewodnik do petrografii*. Manecki A., Muszyński M. red. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków, s. 551.
- Narkiewicz M., Dadlez R. 2008 – *Geologiczna regionalizacja Polski – zasady ogólne i schemat podziału w planie podkenozoicznym i podpermskim*. Przegląd Geologiczny t. 56, nr 5, s. 391–397.

- Nieć M. 2002 – *Złoża kopalin budowlanych i drogowych* [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kamienie budowlane i drogowe. Ney R. red. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 14–65.
- Osborne M., Haszeldine R.S., Fallick A.E. 1994 – Variation in kaolinite morphology with growth temperature in isotopically mixed pore-fluids, Brent Group, UK North Sea. *Clay Miner.* 29, 4, s. 591–608.
- Pawłowska K. 1962 – *Uwagi o pozycji stratygraficznej żwirów w liasie świętokrzyskim*. *Przegląd Geologiczny* t. 9, nr 7, s. 352–356.
- Pemberton S.G., MacEachern J.A., Dashtgard S.E., Bann K.L., Gingras M.K., Zonneveld J.P. 2012 – *Shorefaces* [W:] Knaust D., Bromley R.G. (eds). *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments, Developments in Sedimentology*. 64, s. 563–604, Elsevier.
- Peszat C. 1973 – *Właściwości techniczne piaskowców Gór Świętokrzyskich*. *Zeszyty Naukowe AGH* nr 378, *Geologia*, z. 18.
- Peszat C. 1984 – *Zmienność składu petrograficzno-mineralnego piaskowców cergowskich na tle warunków ich depozycji i przemian diagenetycznych*. *Biuletyn Inst. Geol.* t. 346, s. 207–240.
- Peszat C. 1997 – Skład petrograficzny i własności fizyczne gruboławicowych piaskowców cergowskich serii grybowej w Klęczanach koło Nowego Sącza. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 13, z. 1, s. 137–163.
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. 1972 – *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, s. 618.
- Pieńkowski G. 1983 – Środowiska sedymentacyjne dolnego liasu północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Przegląd Geologiczny* t. 31, nr 4, s. 223–231.
- Pieńkowski G. 1985 – *Early Liassic trace fossils assemblages from Holy Cross Mountains, Poland: their distribution in continental and marginal marine environments* [W:] *Biogenic structures: their use in interpreting depositional environments*. (red. H.A. Curran). *Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, Sp. Publ.*, 35, s. 37–51.
- Pieńkowski G. 1997 – *Sedymentologia i stratygrafia sekwencyjna na podstawie wybranych profilów* [W:] *Epikontynentany perm i mezozoik w Polsce*. Marek S., Pajchłowa M. red. *Prace PIG* 153, s. 217–235.
- Pieńkowski G. 2004 – *The epicontinental Lower Jurassic of Poland*. *Polish Geological Institute Special Papers*, 12, s. 154.
- Pieńkowski G. 2006 – Field Trip B4. *Lower Jurassic marginal marine and continental deposits – sedimentation, sequence and ecosystems* [W:] Wierzbowski A., Aubrecht R., Golonka J., Gutowski J., Krobicki M., Matyja B.A., Pieńkowski G., Uchman A. red., *Jurassic of Poland and adjacent Slovakian Carpathians. Field Trip Guidebook of 7th International Congress on the Jurassic System*. PIG Warszawa.
- Pieńkowski G., Niedźwiedzki G. 2009 – *Invertebrate trace fossil assemblage from the Lower hettangian of Soltyków, Holy Cross Mountains, Poland Vol. Jurassica*. 4, s. 109–131.
- Pieńkowski G., Waksmundzka W. 2009 – *Palynofacies in Lower Jurassic epicontinental deposits of Poland: tool to interpret sedimentary environments*. *Episodes* Vol. 32, n. 1, s. 21–32.
- Pinińska J. red. 1994 – *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. I. Skały osadowe regionu świętokrzyskiego*. Zakład Geomechaniki UW, s. 171.
- Pinińska J., Płatek P. 2002 – *Badania ultradźwiękowe w ocenie wytrzymałości skał*. *Górn. Odkr.* nr 2–3, s. 89–96.

- PN-84/B-01080: 1984 – Kamień dla budownictwa i drogownictwa. Podział i zastosowanie według własności fizyczno-mechanicznych. Polski Komitet Normalizacji, Miary i Jakości, Warszawa 1984.
- PN-EN 1926: 2001 – *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2001.
- PN-EN 1936: 2010 – *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2010.
- PN-EN 13755: 2008 – *Metody badań kamienia naturalnego – Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2008.
- Połowska M. 2010 – *Petrologia i diagenetyzacja dolnokredowych piaskowców niecki płockiej*. Biuletyn PIG t. 443, s. 55–80.
- Powers M.C. 1953 – *A new roundness scale for sedimentary particles*. Jour. Sedim. Petrol., 23, s. 117–119.
- Przybyłowicz T. 1967 – *Petrografia dolnego liasu środkowej części Kotliny Kamiennej*. Arch. Miner. t. 27, z. 2, s. 121–177.
- Pszonka J. 2009 – *The influence of sedimentation and diagenetic process on economic significance of the Cergowa sandstones from "Lipowica II-1" deposit*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management t. 25, z. 3, s. 333–342.
- Rajchel J. 2004 – *Kamienny Kraków – spojrzenie geologa*, Wyd. AGH. Kraków.
- Ratajczak T., Magiera J., Skowroński A., Tumidajski T. 1998 – *Ilościowa analiza mikroskopowa skał*. Skrypty Uczelnie. Wyd. AGH.
- Rembiś M. 2002 – *Społwa piaskowców ropianieckich i magurskich między Rabką a Grybowem na tle ich warunków sedymentacji i przemian diagenetycznych*. Prace Geologiczne 149, s. 78.
- Rembiś M. 2010 – *Piaskowce modyfikowane związkami krzemoorganicznymi oraz zmiany ich porowatości i wytrzymałości na zginanie pod działaniem siły skupionej*. Kwartalnik AGH. Geologia. t. 36, z. 1, s. 67–108.
- Rembiś M. 2015 – *Zróżnicowanie jakości kopaliny jako efekt warunków depozycji i przemian diagenetycznych osadu oraz procesów wietrzenia skały na przykładzie piaskowców magurskich ze złoża Osielec*. Górnictwo Odkrywkowe. r. 56, nr 2, s. 118–125.
- Rogalska M. 1956 – *Analiza spорово-pyłkowa liasowych osadów obszaru Mroczków-Rozwady w powiecie opoczyńskim*. Biuletyn Inst. Geol., 104, s. 1–89.
- Rozporządzenie Ministra Śrowowiska z dnia 20 czerwca 2005 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopaliny (Dz.U.116.978).
- Ruśkiewicz-Saab M., Kita-Badak M. 1978 – *Atlas litologiczno-surowcowy Polski 1:200 000*. Surowce skalne. Surowce krzemionkowe związane. Wyd. Geol., Warszawa.
- Samsonowicz J. 1929 – *Cechsztyń, trias i lias na północnym zboczu Łysogór*. Spraw. PIG 5, nr 1–2. Warszawa.
- Shrock R.R. 1948 – *Sequence in layered rocks*. McGraw-Hill, New York. s. 507.
- Sommer F. 1978 – *Diagenesis of Jurassic sandstones in the Viking Graben*. J. Gel. Soc. London. v. 135, s. 63–67.
- Stańczak G., Figarska-Warchoń B. 2016 – *Wpływ orientacji szlifów mikroskopowych i wyboru mierzo-nych składników mineralnych na wyniki analizy granulometrycznej*. Górnictwo Odkrywkowe nr 5, s. 42–52.
- Stupnicka E. 1997 – *Geologia Regionalna Polski*, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, s. 348.

- Stück H., Koch R., Siegesmund S. 2013 – *Petrographical and petrophysical properties of sandstones: statistical analysis as an approach to predict material behaviour and construction suitability*. Environ. Earth Sci. 69. Springer. s. 1299–1332.
- Tarkowski R., Wdowin M., Manecki M. 2014 – *Badania petrofizyczne i mineralogiczno-petrograficzne skał dolnej jury antykliny Zaosia i Chabowa poddanych oddziaływaniu CO₂*. Wyd. IGSMiE Kraków, 86 s.
- Teofilak-Maliszewska A. 1968 – *Petrografia osadów liasu w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich*. Biuletyn Inst. Geol. 216, t. 3, Warszawa.
- Thiel K. 1980 – *Mechanika skał w inżynierii wodnej*. PWN, Warszawa.
- Tonkin N.S. 2012 – *Deltas* [W:] Knaust D., Bromley R.G. (eds). Trace fossils as indicators of sedimentary environments. Developments in Sedimentology, Vol. 64, s. 507–528.
- Urban J. 2016 – The geological constraints of the development of sandstone landforms in Central Europe, a case study of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains, Poland. Geomorphology, 274. s. 31–49.
- Urban J., Gągał J. 1994a – *Kamienie budowlane regionu świętokrzyskiego i tradycje ich eksploatacji. Materiały Konferencji Surowce Kamienne Regionu Świętokrzyskiego. Tradycje, możliwości i perspektywy wykorzystania, Kielce 17–19 października 1994*. s. 7–26.
- Urban J., Gągał J. 1994b – *Kamieniołomy piaskowców w dawnych ośrodkach górnictwa kamiennego północnej części regionu Świętokrzyskiego jako zabytki techniki i przyrody*. Przegląd Geologiczny t. 42, nr 3, s. 193–200.
- Urban J., Kowalski W. 2004 – *Szydłowiec – miasto na kamieniu*. Urząd Miejski w Szydłowcu. Szydłowiec.
- Ustawa z dnia 04.02.1994 r. Prawo geologiczne i górnicze* (Dz.U. Nr 27 poz. 96 z 1994 r.).
- Walendowski H. 2015 – *Piaskowce z Sielca*. Nowy Kamieniarz 6/84, s. 41.
- Wilk S., Brodziński I., Gałka M., Kowalik J., Lis J., Pasieczna A., Tomassi-Morawiec H., Gabryś-Godlewska A. 2004 – *Objaśnienia do Mapy geotektonicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Żarnów (739)*. PIG Warszawa.
- Wyrwicki R. 1960 – *Lias między Gowarczowem a Mroczkowem*. Kwartalnik Geologiczny t. 4. nr 1, s. 71–158.
- Wyrwicki R. 1966 – *Osady żelaziste liasu świętokrzyskiego*. Biuletyn Inst. Geol. t. 195. s. 71–158.
- Wyszomirski P., Galos K. 2007 – *Surowce mineralne i chemiczne przemysłu ceramicznego*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, s. 283.
- Ziomek 2001 – *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Opoczno (704)*. PIG Warszawa.
- Złonkiewicz Z. 2006 – *Charakterystyka litologiczna. Jura dolna* [W:] Kowalczewski Z., red. – Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego Opoczno PIG 2. z. 111. s. 139.
- Złonkiewicz Z. 2011 – Środowiska depozycyjne piaskowców żarnowskich (formacja ostrowiecka, dolny synemur) w Sielcu koło Żarnowa (zachodnie obrzeżenie Gór Świętokrzyskich) [W:] Jurassica IX. Małogoszcz, 06-08 września 2011: Materiały konferencyjne red. Maryja B.A. red., Wierzbowski A., Ziółkowski P.; Polskie Towarzystwa Geologiczne, Polska Grupa Robocza Systemu Jurajskiego.

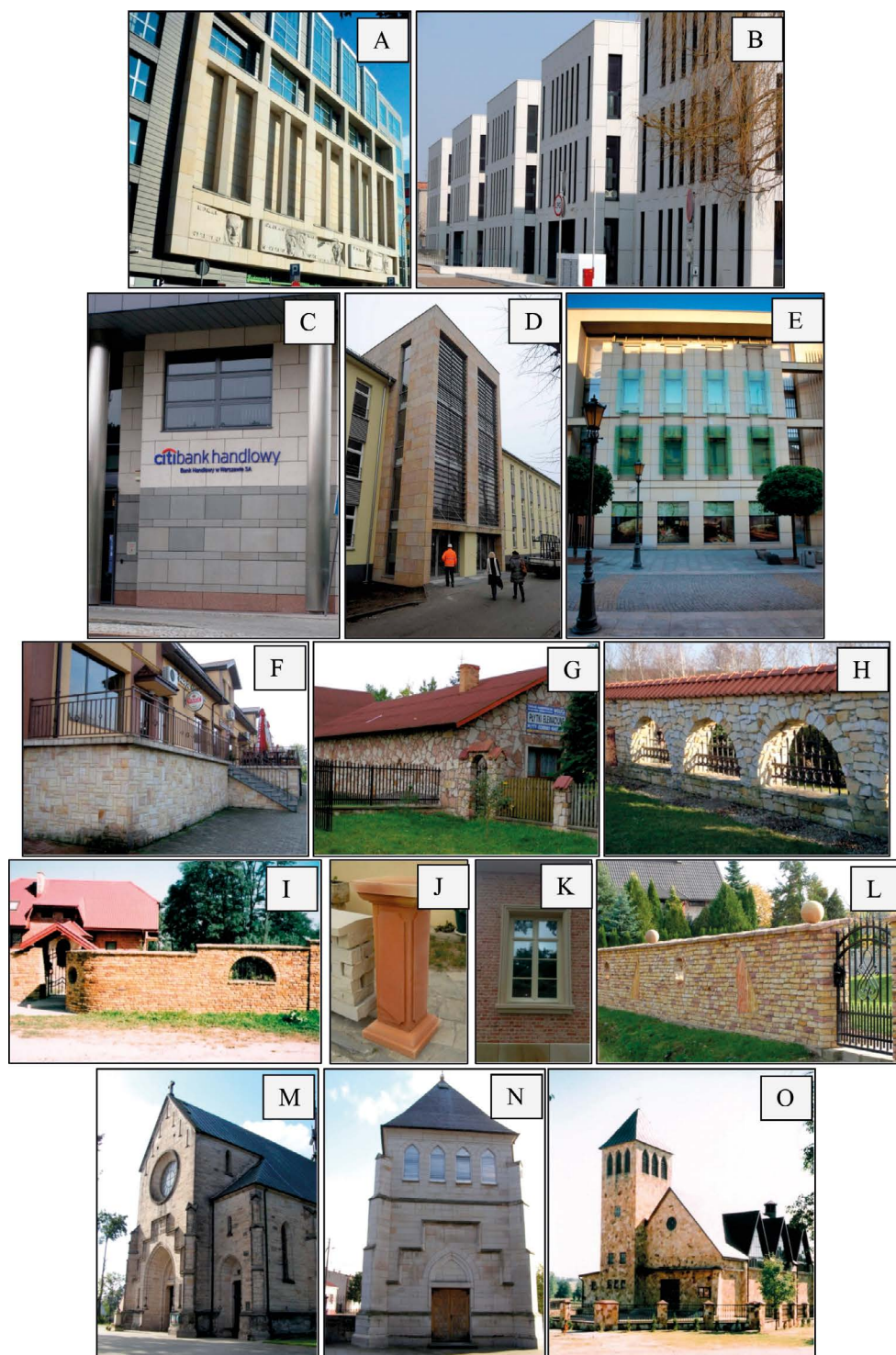
- Złonkiewicz Z. 2013 – *Struktury sedymentacyjne w piaskowcach żarnowskich (formacja ostrowiecka, dolny synemur) w Sielcu koło Żarnowa (zachodnie obrzeżenie Gór Świętokrzyskich)* [W:] Krobicki M., Feldman-Olszewska red. V Polska Konferencja Sedymentologiczna POKOS 2013. 16–19.05.2013. Żywiec, s. 268–270.
- Żelaźniewicz A. Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P. H., Konon A., Oszczytko N., Ślęczka A., Żaba J., Żyto K. 2011 – *Regionalizacja tektoniczna Polski*, Komitet Nauk Geologicznych PAN. Wrocław, 60 s.

PLANSZA I
PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ ARCHITEKTONICZNYCH PIASKOWCÓW JURAJSKICH
WYDOBYWANYCH ZE ZŁÓŻ W PÓŁNOCNO-ZACHODNIM OBRZEŻENIU GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH
(s. 119)

PLATE I
EXAMPLES OF THE ARCHITECTURAL APPLICATIONS OF THE JURASSIC SANDSTONES
EXTRACTED FROM THE DEPOSITS IN THE NORTH-WESTERN MARGIN
OF THE ŚWIĘTOKRZYSKIE MOUNTAINS
(p. 119)

Fot. 1. Przykłady zastosowania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych: A – płyty piaskowca formacji ostrowieckiej (z kopalni Sielec) na elewacji budynku kina Praha w Warszawie, B – płyty piaskowca formacji ostrowieckiej (z kopalni Sielec) na elewacji budynku na ul. Murawa w Poznaniu, C – płyty piaskowca formacji ostrowieckiej (górna część zdjęcia) na elewacji budynku dawnej siedziby Citibanku Handlowego w Krakowie, D – płyty piaskowca formacji skłobskiej (z kopalni Wolica) na elewacji budynku Politechniki Opolskiej w Opolu, E – płyty piaskowca formacji ostrowieckiej (kopalnia Sielec) na elewacji budynku Muzeum Mazowieckiego w Płocku, F – boniówka z piaskowców formacji skłobskiej (z kopalni Wolica) zastosowana na podmurówkę budynku restauracji w Przedborzu, G – cienkie płytki piaskowców formacji skłobskiej (z kopalni Wolica), tzw. łupanka, na elewacji budynku w Wolicy, H – ogrodzenie z piaskowców formacji ostrowieckiej (kamień murowy z kopalni Sielec), I – ogrodzenie z piaskowców formacji ostrowieckiej (z kopalni Mroczków Gościnny), J – kolumna z piaskowców formacji ostrowieckiej (z kopalni Sielec IV), K – obramowania okienne, parapet i podmurówka z piaskowców formacji ostrowieckiej, L – ogrodzenie wykonane z piaskowców formacji borucickiej (z kopalni Dąbie), M – kościół w miejscowości Żarnów, zbudowany (przynajmniej częściowo) z piaskowcowych materiałów ciosowych pochodzących z lokalnych kopalń (piaskowiec formacji ostrowieckiej), N – dzwonnica w Żarnowie (piaskowiec formacji ostrowieckiej z lokalnych kopalń), O – elewacja kościoła w Mroczkowie Gościńnym wykonana z cienkich płytek okładzinowych (piaskowiec formacji ostrowieckiej z kopalni w Mroczkowie Gościńnym)
Źródła zdjęć: K. Guzik, ZKMB A. Kosek, A. Gromała, Ł. Czudec

Phot 1. Examples of the applications of Jurassic sandstones of the north-western margin of the Świętokrzyskie Mountains as an architectural stones: A – slabs of Ostrowiec Fm. sandstones (from the Sielec mine) applied on the facade of the Praha Cinema building in Warsaw, B – slabs of Ostrowiec Fm. sandstones (from the Sielec mine) applied on the facade of the building on Murawa Street in Poznań, C – slabs of Ostrowiec Fm. sandstones (the upper part of the photo) applied on the facade of the building of the former headquarters of the Citibank Handlowy in Krakow, D – slabs of Skłoby Fm. sandstone (from Wolica mine) applied on the facade of the Politechnika Opolska building in Opole, E – slabs of Ostrowiec Fm. sandstones (from the Sielec mine) on the facade of the Mazowieckie Museum building in Plock, F – smaller dimension elements of Skłoby Fm. sandstones (from the Wolica mine) applied as the stone foundation in the building of the restaurant in Przedbórz, G – split tiles of the Skłoby Fm. sandstones (from the Wolica mine) on the facade of the building in Wolica, H – stone hence built of Ostrowiec Fm. sandstones (ashlar from the Sielec mine), I – stone hence built of Ostrowiec Fm. sandstones (from the Mroczków Gościnny mine), J – Ostrowiec Fm. sandstones' column (from the Sielec IV mine), K – ornamental window frieze, windowsill, and stone foundation from the Ostrowiec fm. sandstones, L – stone hence built of Borucice Fm. sandstones (from Dąbie mine), M – church in Żarnów built (partly at least) of sandstone ashlar from the local mines (Ostrowiec Fm. sandstones), N – belfry in Żarnów (Ostrowiec Fm. sandstones from the local mines), O – Mroczków Gościnny church's facade build of sandstones split tiles (Ostrowiec Fm. sandstone from the Mroczków Gościnny mine)



PLANSZA II
CECHY LITOLOGICZNE PIASKOWCÓW FORMACJI SKŁOBSKIEJ
(s. 122–123)

PLATE II
LITHOLOGICAL FEATURES OF THE SKŁOBY FORMATION SANDSTONES
(pp. 122–123)

Fot. 1. Dwudzielnosc litologiczna piaskowcow w wyrobisku zloza Wolica II i Wolica III (sciana poludniowa i zachodnia) – w dolnej czesci profilu piaskowce srednio- i grubolawicowe, w gornej piaskowce cienkolawicowe

Phot. 1. Lithological diversity of sandstones in the quarry of the Wolica II and Wolica III deposits (southern and western walls) – medium- and thick-bedded sandstones in the lower part of the profile, thin-bedded sandstones in the upper part of the profile

Fot. 2. Grubo- i sredniolawicowe piaskowce we wschodniej scianie wyrobiska zloza Wolica II

Phot. 2. Thick- and medium-bedded sandstones in the eastern wall of the Wolica II quarry

Fot. 3. Cienkolawicowe piaskowce z przewarstwieniami mulowcow i ilowcow w zachodniej scianie wyrobiska zloza Wolica III

Phot. 3. Thin-bedded sandstones with mudstone and claystone intercalations in the western wall of the Wolica III quarry

Fot. 4. Nachylone, amalgamowane lawice piaskowcow w poludniowej scianie wyrobiska zloza Wolica II

Phot. 4. Inclined, amalgamated beds of sandstones in the southern wall of the Wolica II quarry

Fot. 5. Powierzchnia stropowa lawic pokryta riplemarkami: A – pradowymi o krętych grzbietach, B – linijnymi

Phot. 5. Ripples on the bedding planes: A – current ripples with sinuous crests, B – linear ripples

Fot. 6. Stopnie morfologiczne (prawdopodobnie dno kanału pradowego): A – pokryte riplemarkami łańcuchowymi na stropowej powierzchni odsłoniętej lawicy, B – w ścianach kamieniołomu (strzałki)

Phot. 6. Morphological steps (probably the bottom of the erosional channel): A – with the catenary ripples on the top surface of the bedding plane, B – in the wall of the quarry (arrows)

Fot. 7. Różne rodzaje struktur sedimentacyjnych: A – naprzemianległe kompleksy piaskowców laminowanych poziomo i przekątnie, B – piaskowce o laminacji przekątnej przechodzące ku górze w piaskowce laminowane horyzontalnie, z erozyjną granicą w spągu

Phot. 7. Various types of sedimentary structures: A – alternate complexes of horizontally and cross laminated sandstones, B – cross laminated sandstones changing upward into horizontally laminated sandstones, with the erosional boundary in the bottom of the set

Fot. 8. Intraklasty skał ilastych o długości od kilku mm do kilku cm (strzałka)

Phot. 8. Intraclasts of clay rocks of a length from a several mm to several cm (arrow)

Fot. 9. Skamieniałości śladowe (jamki mieszkalne) w stropie ławicy piaskowców

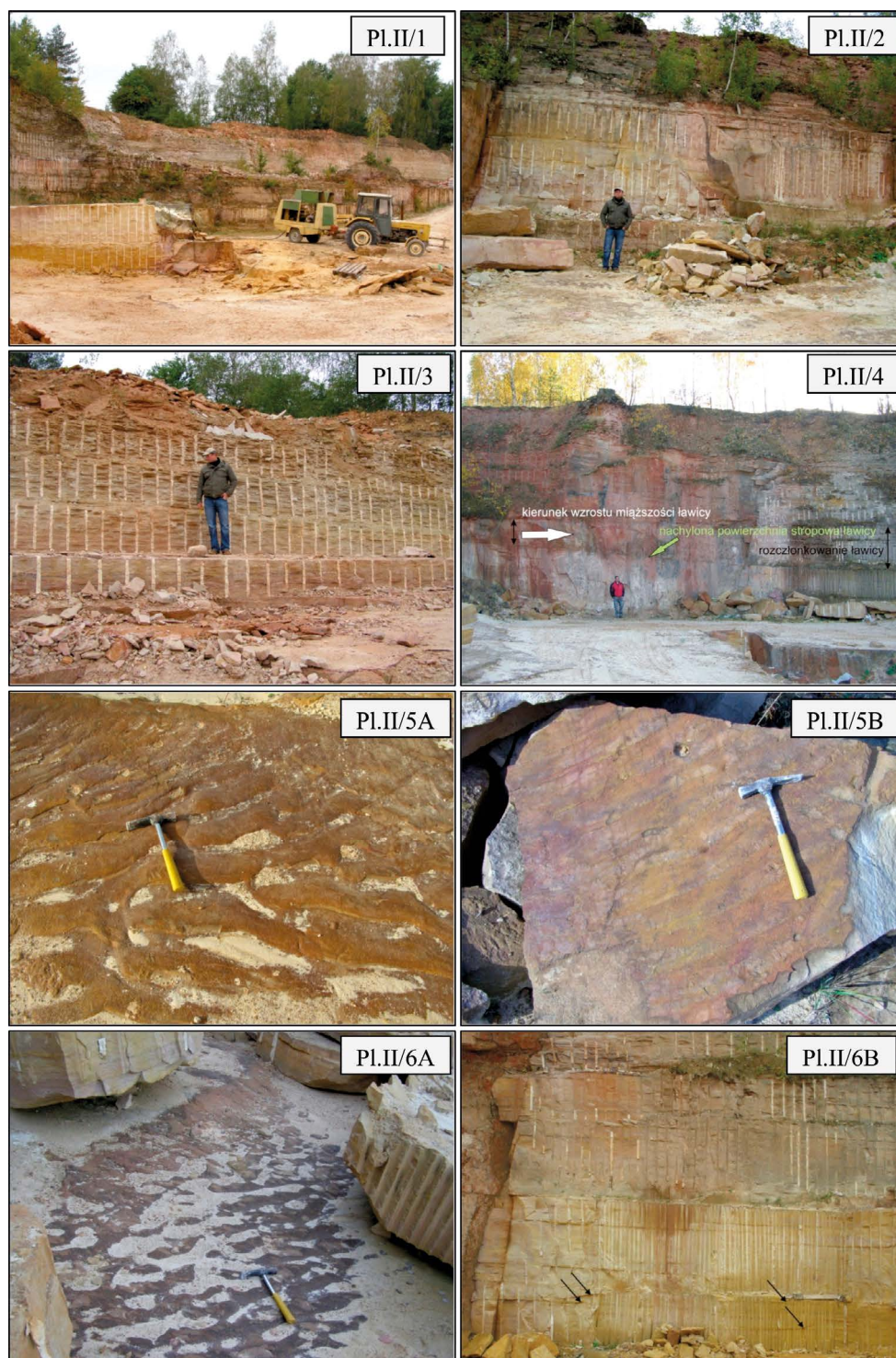
Phot. 9. Trace fossils (dwelling burrows) in the top of the sandstones bed

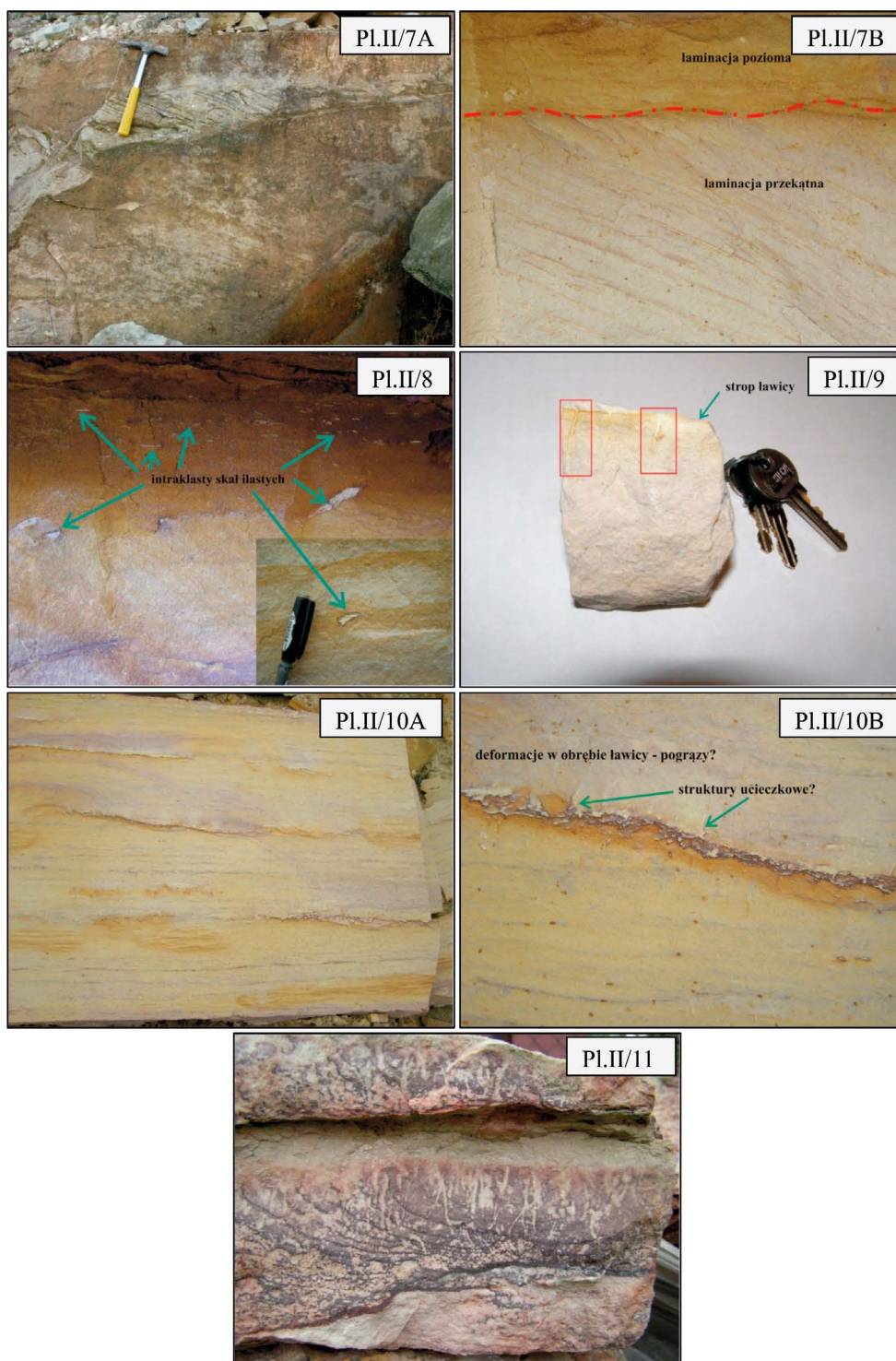
Fot. 10. Deformacje w obrębie ławicy piaskowców powstałe prawdopodobnie w efekcie grzęźnięcia osadu o większej gęstości (związków żelaza): A – przekrój poprzeczny ławicy piaskowców z erozyjnymi powierzchniami rozmycia wewnątrzławicowego, powyżej warstewka osadów ilastych oraz związków żelaza, zaburzona prawdopodobnie strukturami pogrążowymi; B – fragment powiększony

Phot. 10. Deformations within the sandstone bed formed probably in the course of the higher density minerals (iron compounds) falling: A – cross section perpendicular to bedding with the erosional surfaces of the wash-out in sandstones; B – enlarged fragment

Fot. 11. Piaskowce z koncentracjami związków żelaza oraz jamkami mieszkalnymi występujące w górnej części profilu złoża Wolica II i Wolica III

Phot. 11. Sandstones with the concentrations of the iron oxides and dwelling burrows occurring in the upper part of the profile of the Wolica II and Wolica III deposit





PLANSZA III
CECHY LITOLOGICZNE PIASKOWCÓW FORMACJI OSTROWIECKIEJ
(s. 126–128)

PLATE III
LITHOLOGICAL FEATURES OF THE OSTROWIEC FORMATION SANDSTONES
(pp. 126–128)

Fot. 1 Różne rodzaje riplemarków na powierzchni stropowej ławic w kamieniołomie Żarnów 1:
A – linijne; B – półksiężycowe

Phot. 1. Various types of ripples on the top surface of the beds in the Żarnów 1 quarry:
A – linear ripples; B – lunate ripples

Fot. 2A, 2B. Warstwowanie kopułowe w spągu ławicy piaskowców – kamieniołom Sielec I

Phot. 2A, 2B. Hummocky cross-bedding in the bottom of the sandstones beds – the Sielec I quarry

Fot. 3. Poziomy megariplemarków falowych (zielone strzałki):
A – kamieniołom Żarnów 1; B – kamieniołom Sielec I; C – kamieniołom Sielec IV

Phot. 3. A few levels with preserved megaripples (green arrows):
A – the Żarnów 1 quarry; B – the Sielec I quarry; C – the Sielec IV quarry

Fot. 4. Najniższy poziom megariplemarków w kamieniołomie Sielec I (zielona strzałka)

Phot. 4. The lowest level of megaripples in Sielec I quarry (green arrow)

Fot. 5. Najniższy poziom megariplemarków (wysokość około 60 cm) w kamieniołomie Żarnów 1

Phot. 5. The lowest level of megaripples (height of ca. 60 cm) in the Żarnów 1 quarry

Fot. 6. Osady bezstrukturalne i laminowane przekątnie, wypełniające zagłębienia między grzbietami megariplemarków w kamieniołomie Żarnów 1

Phot. 6. Deposits of lack of visible sedimentary structures and cross laminated, filling the troughs between the megaripple ridges in the Żarnów 1 quarry

Fot. 7. W stropie ławicy piaskowców warstwowanie przekątne kopułowe (zielona strzałka) stanowiące zapis aktywności sztormowej, poniżej osady z niskokątowym warstwowaniem przekątnym, partiami zbioturbowane (fioletowe strzałki) akumulowane w środowiskuiskoenergetycznym

Phot. 7. Hummocky-cross bedding in the top part of sandstone bed (green arrow) formed in the course of the storm activity, below the deposits with the low-angle cross bedding, locally bioturbated (violet arrows) accumulated in a low-energy environment

Fot. 8. Rozmycie śródlawicowe (zielona strzałka) wypełnione osadem masywnym

Phot. 8. Intra-bed wash-out (green arrow) filled with deposit of the lack of the visible sedimentary structures

Fot. 9. Kanały erozyjne wypełnione osadem piaszczysto-ilastym:

A – kamieniołom Sielec II; B – kamieniołom Sielec I

Phot. 9. Erosional channels filled with sandy-clay deposit:

A – the Sielec II quarry; B – the Sielec I quarry

Fot. 10. Gruboławicowe piaskowce w dolnej części profilu kamieniołomu Tresta Wesoła I

Phot. 10. Thick-bedded sandstones in the lower part of the profile in the Tresta Wesoła I quarry

Fot. 11. Ślady drewna w piaskowcach środkowej części profilu w kamieniołomie Tresta Wesoła I

Phot. 11. Flora remains in sandstones of the middle part of the profile in the Tresta Wesoła I quarry

Fot. 12. Soczewki mułowców w obrębie gruboławicowych piaskowców w kamieniołomie Tresta Wesoła I

Phot. 12. Mudstone lenses in thick bedded sandstones in Tresta Wesoła I quarry

Fot. 13. Średnio- i cienkoławicowe piaskowce w górnej części profilu w kamieniołomie w Treście Wesołej

Phot. 13. Medium and thin bedded sandstones in the upper part of the profile in the Tresta Wesoła quarry

Fot. 14. Piaskowce warstwowane przekątnie w górnej części profilu wyrobisk w Treście Wesołej

Phot. 14. Cross-bedded sandstones in the upper part of the profile in Tresta Wesoła quarries

Fot. 15. Riplemarki językowate w stropie ławicy piaskowców odsłaniającej się w górnej części profilu w kamieniołomie w Mroczkowie Gościnnym

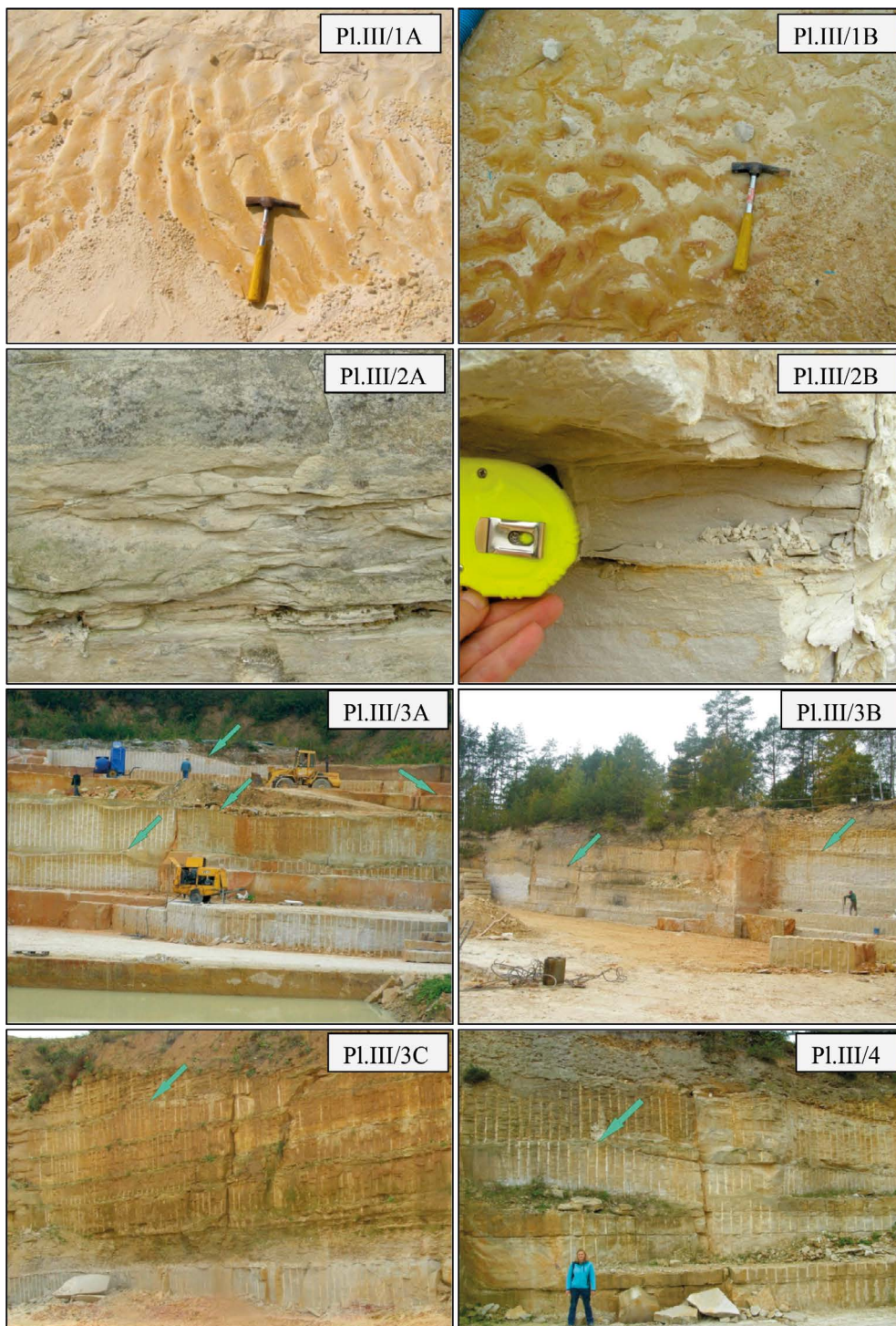
Phot. 15. Linguloid ripples in the top of the sandstones bed exposed in the upper part of the profile in the Mroczków Gościnnny quarry

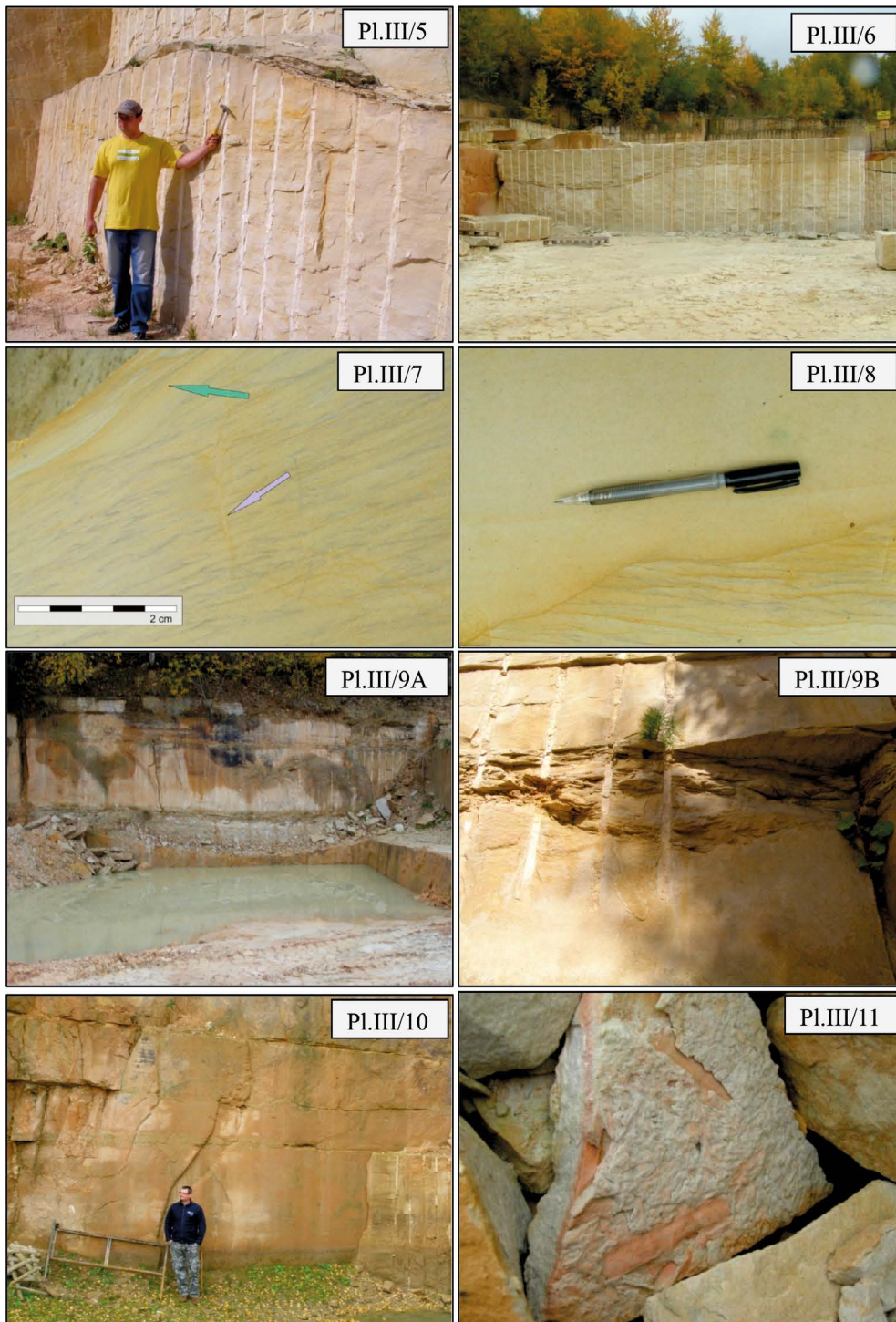
Fot. 16A, B. Odciski drewna obserwowane w dolnej części profilu w kamieniołomie w Mroczkowie Gościnnym, lokalnie podkreślone obecnością uwęglonej substancji organicznej

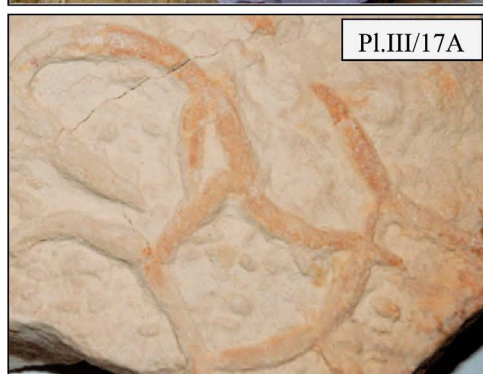
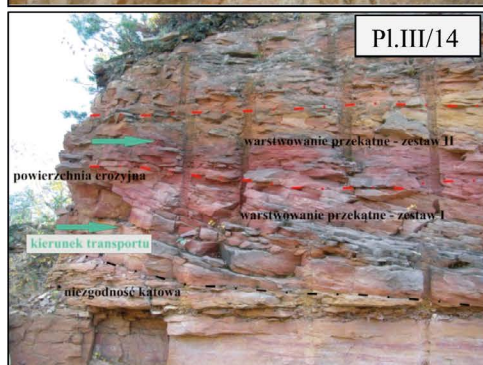
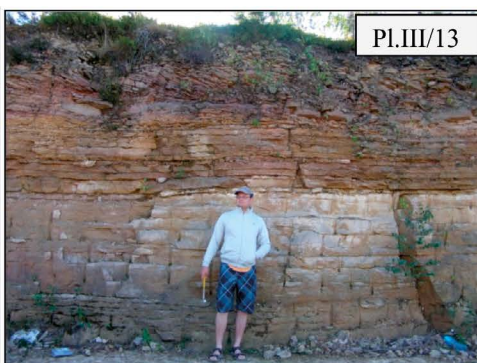
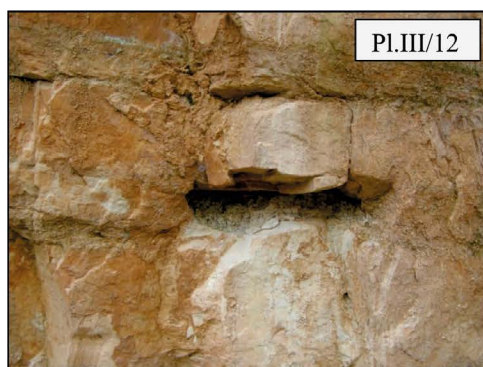
Phot. 16. A, B. Flora remains in the lower part of the profile in the Mroczków Gościnnny quarry locally accompanied by preserved coalified organic matter

Fot. 17A, B. Biohieroglify na spągowej powierzchni ławic

Phot. 17A, B. Bio-hieroglyphs on the bottom surface of beds







PLANSZA IV
CECHY LITOLOGICZNE PIASKOWCÓW FORMACJI BORUCICKIEJ
(s. 131)

PLATE IV
LITHOLOGICAL FEATURES OF THE BORUCICE FORMATION SANDSTONES
(p. 131)

Fot. 1. Północna ściana kamieniołomu w Dąbiu – w dolnej części profilu piaskowce czoła delty, w górnej nachylone w przeciwnych kierunkach ławice piaskowców reprezentujące osady kanałów rozprowadzających

Phot. 1. The north face of the Dąbie quarry – delta front sandstones in the lower part of profile, above inclined in opposite directions sandstone beds representing distributary channels deposits

Fot. 2. Średnio- i gruboławicowe piaskowce czoła delty w kamieniołomie Dąbie (ściana E)

Phot. 2. Medium and thick bedded delta front sandstones in the Dąbie quarry (wall E)

Fot. 3. Horyzontalnie ułożone ławice piaskowców grubo- i średnioławicowych czoła delty w kamieniołomie w Dąbiu, w górnej części ścięte erozyjnie; powyżej nachylone osady kanału rozprowadzającego

Phot. 3. Horizontally settled beds of thick- and medium-bedded sandstones of delta front in the Dąbie quarry, in the upper part removed by erosion and overlain by inclined deposits of distributary channel

Fot. 4. Riplemarki prądowe na powierzchni stropowej ławicy, z nagromadzeniami związków żelaza – kamieniołom w Dąbiu

Phot. 4. Current ripples on the top surface of bed with layers of iron oxides – the Dąbie quarry

Fot. 5. W górnej części zdjęcia grube ławice piaskowców o nierównej powierzchni spągowej; poniżej soczewki białych iłowców (strzałki) – kamieniołom w Dąbiu

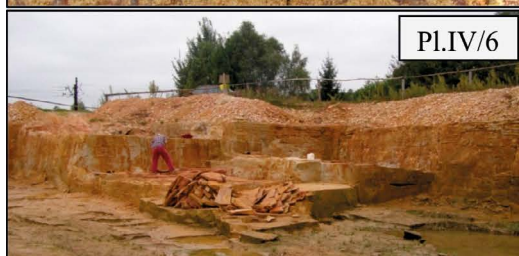
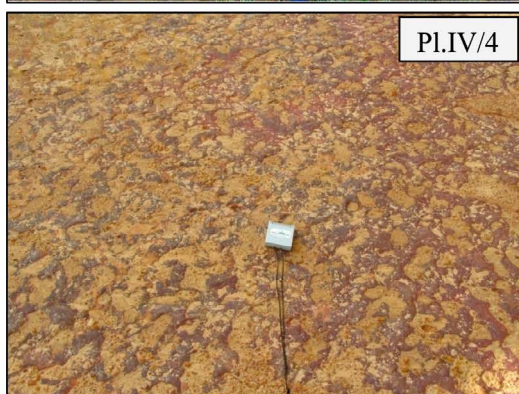
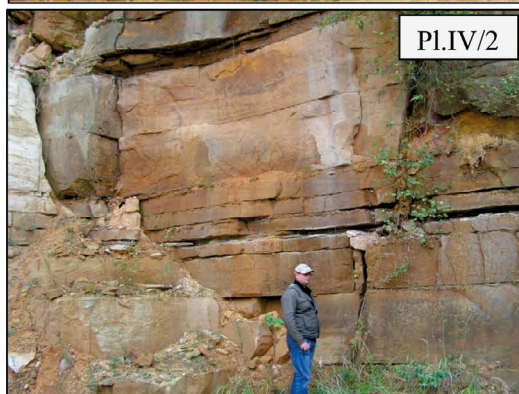
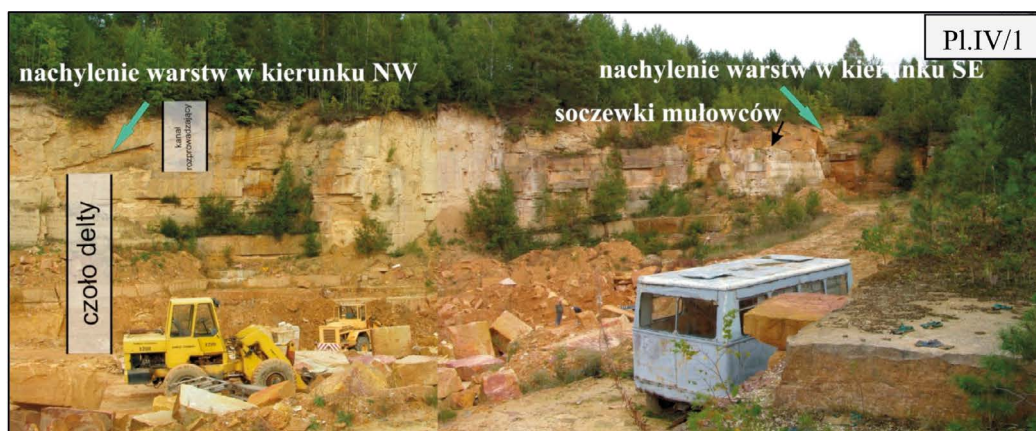
Phot. 5. In the upper part of photographs thick bedded sandstones with rough bottom surface; below white claystone lenses (arrows) – the Dąbie quarry

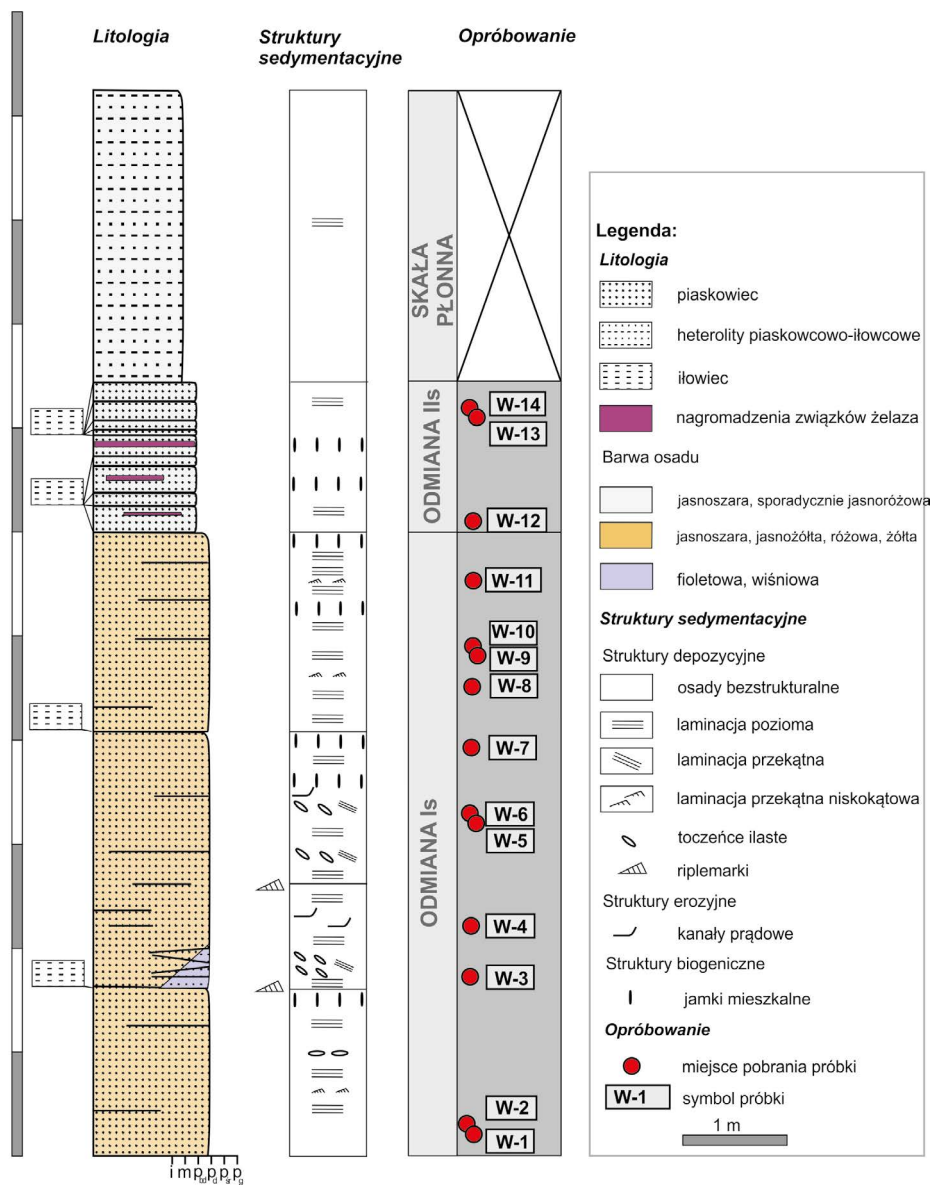
Fot. 6. Profil piaskowców cienkoławicowych, podrzędnie średnioławicowych w kamieniołomie Pilichowice I

Phot. 6. Thin-bedded and subordinate medium-bedded sandstones profile in the Pilichowice I quarry

Fot. 7. Ślady działalności organizmów na stropowej powierzchni ławicy piaskowców w kamieniołomie Pilichowice I

Phot. 7. Trace fossils on the top surface of sandstone bed in the Pilichowice I quarry





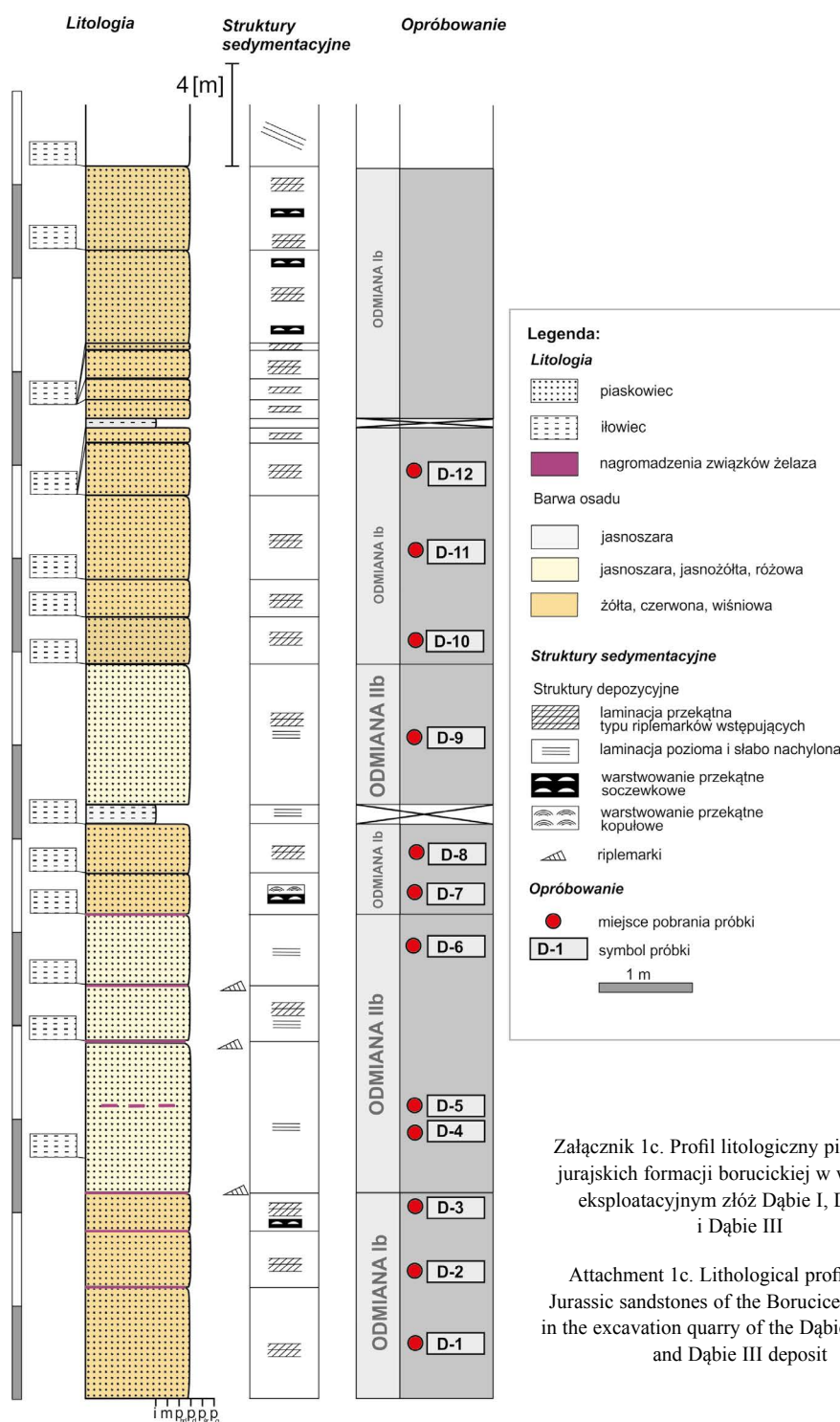
Załącznik 1a. Profil litologiczny piaskowców jurajskich formacji skłobskiej w wyrobisku eksploatacyjnym złóż Wolica II i Wolica III

Attachment 1a. Lithological profile of the Jurassic sandstones of the Skłoby Formation in the excavation quarry of the Wolica II and Wolica III deposit

SE

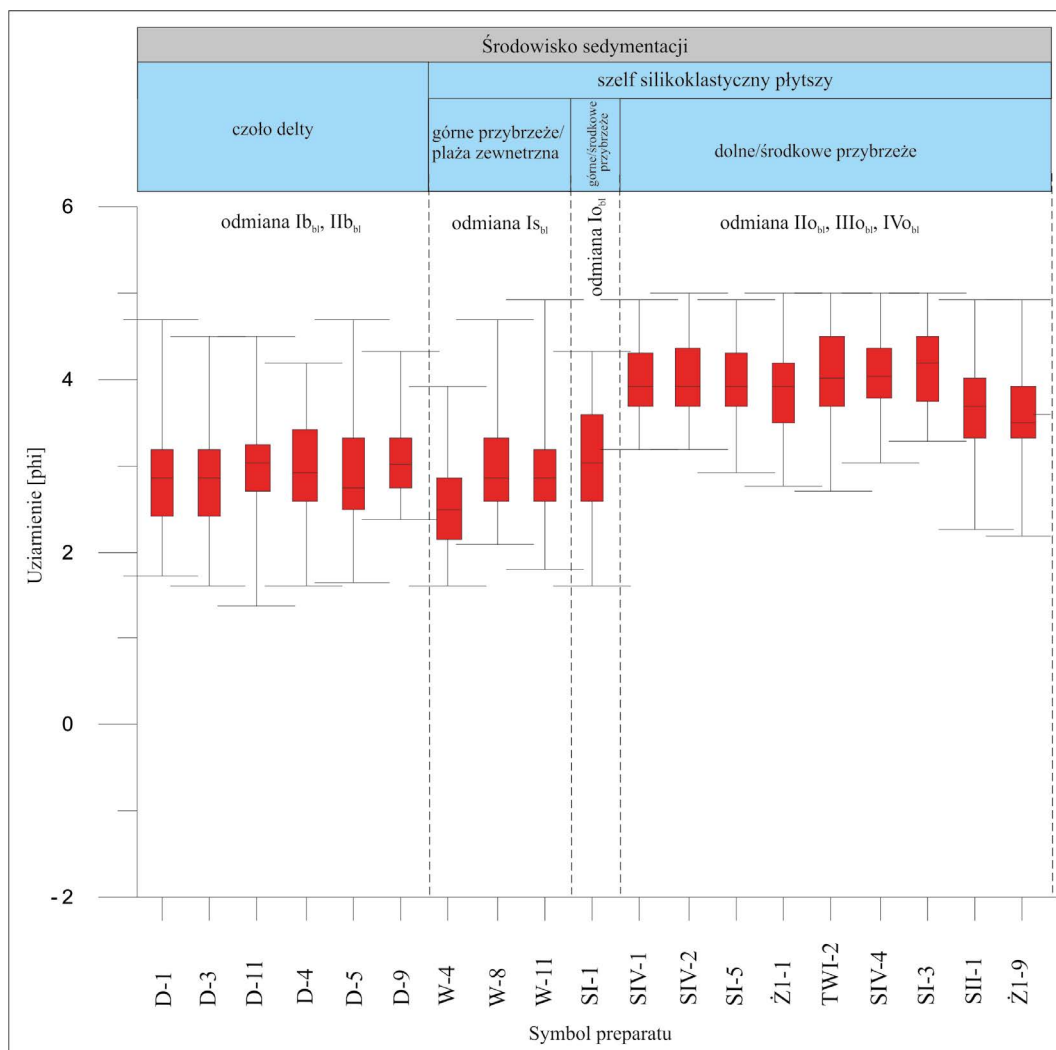


Załącznik 1b. Profil litologiczny piaskowców jurajskich formacji ostrowieckiej w wyrobiskach eksploatacyjnych złóż Sielec II, Sielec I, Żarnów 1 oraz Tresta Wesoła I
Attachment 1b. Lithological profile of the Jurassic sandstones of the Ostrowiec Formation in the excavation quarries of the Sielec II, Sielec I, Żarnów 1 and Tresta Wesoła I deposits



Załącznik 1c. Profil litologiczny piaskowców
jurajskich formacji borucickiej w wyrobisku
eksploatacyjnym złóż Dąbie I, Dąbie II
i Dąbie III

Attachment 1c. Lithological profile of the Jurassic sandstones of the Borucice Formation in the excavation quarry of the Dąbie I, Dąbie II and Dąbie III deposit



Na wykresie zaznaczono kolejno: wartość minimalną, wartość pierwszego kwartyła, medianę, wartość trzeciego kwartyła i wartość maksymalną

There is marked on the graph in turn: minimum value, first quartile value, median, third quartile value and maximum value

Załącznik 2. Wykres typu skrzynkowego (pudełkowego) przedstawiający rozkład wielkości uziarnienia dla wybranych preparatów mikroskopowych odmian blocznych piaskowców jurajskich z uwzględnieniem warunków ich sedimentacji

Attachment 2. Box-and-whisker plot presenting distribution of grain-size of selected microscopic slides of dimension varieties of Jurassic sandstones, including the conditions of their sedimentation

Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych w zależności od ich litologii

Streszczenie

Jurajskie piaskowce północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich to skały o długich tradycjach wydobywania i użytkowania w budownictwie. Wzrost zapotrzebowania na piaskowce dla celów architektonicznych, wykorzystywane przede wszystkim w postaci płyt okładzinowych (pionowych i poziomych), a także mniejszych elementów kamiennych (m.in. cienkich płytek okładzinowych oraz kamienia murowego) spowodował, iż w ostatnich latach, w granicach obszaru badań udokumentowanych zostało wiele nowych złóż. Pozyskiwana z nich kopalina charakteryzuje się znaczną zmiennością parametrów jakościowych i w związku z tym wykazuje zróżnicowaną przydatność do produkcji materiałów kamiennych. Pomimo rozwoju wydobycia wpływ zróżnicowania litologicznego omawianych skał na ich właściwości użytkowe nie był dotychczas przedmiotem badań.

Opublikowane w ostatnich latach wyniki badań sedimentologicznych dostarczyły nowych danych na temat warunków depozycji osadów jury dolnej na analizowanym obszarze. Na ich podstawie ustalono, iż piaskowce z badanych w pracy złóż reprezentują osady deltowe, brzegowe (plaży zewnętrznej) i płytkiego szelfu silikoklastycznego (przybrzeżne). Pod względem stratygraficznym skały te zaliczono do formacji skłobskiej, ostrowieckiej i borucickiej.

Celem pracy było określenie wpływu procesów sedimentacyjnych i diagenetycznych na wykształcenie litologiczne piaskowców z analizowanych złóż. Drugim, równoległym kierunkiem badań była ocena przydatności piaskowców o zróżnicowanej litologii, ukształtowanej w wyniku wspomnianych procesów, do zastosowań jako kamienie architektoniczne.

Piaskowce wykorzystywane jako kamienie architektoniczne muszą posiadać odpowiednie właściwości użytkowe. Skały te powinny przede wszystkim spełniać wymagania jakościowe stawiane przez odbiorców w zakresie właściwości fizyczno-mechanicznych, a ponadto posiadać korzystne walory dekoracyjne, decydujące o atrakcyjności wizualnej wykonanych z nich materiałów kamiennych. Trzecim ważnym czynnikiem jest odpowiednio wysoki uzysk prostopadłościennych bloków, o określonej objętości i regularnych kształtach. Głównym kierunkiem ich wykorzystania jest obecnie produkcja płyt okładzinowych, a w mniejszym zakresie również różnego rodzaju elementów profilowanych (np. kolumny,

parapety), zaspokajająca rosnące potrzeby branży budowlanej. Z tej przyczyny kompleksowa charakterystyka piaskowców jurajskich, obejmująca zarówno ich cechy sedimentacyjno-litologiczne oraz petrograficzne, jak też parametry jakościowe, przeprowadzona została w pracy w podziale na odmiany bloczne i odmiany nie wykazujące do tego celu przydatności.

Realizacja celów pracy wymagała przeprowadzenia badań terenowych i laboratoryjnych, poprzedzonych etapem studiów literaturowych. Do badań terenowych wybranych zostało piętnaście złóż piaskowców, które w ostatnich latach stanowiły przedmiot regularnej bądź okresowej eksploatacji. Obserwacje cech sedimentacyjno-litologicznych piaskowców w dostępnych do obserwacji profilach złożowych stanowiły podstawę wyróżnienia dziesięciu odmian piaskowców, w tym siedmiu blocznych i trzech nieprzydatnych do tego celu. Pierwsze z nich stwierdzono w profilach dziesięciu, a drugie w profilach ośmiu analizowanych złóż. Ostatnie z wymienionych, z uwagi na niewielką miąższość ławic, mogą być wykorzystywane wyłącznie w postaci cienkich kształtek.

Przedmiotem badań laboratoryjnych były pobrane w wyrobiskach złożowych próbki, reprezentujące każdą z wyróżnionych w pracy odmian piaskowców. Badania petrograficzne obejmowały klasyczne badania mikroskopowe w świetle przechodzącym, w tym mikroskopową analizę ilościową i analizę granulometryczną. Jako metodę uzupełniającą zastosowano elektronową mikroskopię skaningową (SEM), w połączeniu z analizą składu chemicznego przy użyciu spektrometru rentgenowskiego (EDS). Dobrana w ten sposób metodyka badań pozwoliła na identyfikację oraz ustalenie udziału głównych składników mineralnych szkieletu ziarnowego i spoiwa, a także określenie pozycji systematycznej piaskowców. Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe dostarczyły ponadto informacji na temat cech teksturalno-strukturalnych badanych skał oraz stopnia obtoczenia ich materiału detrytycznego. Badania w elektronowym mikroskopie skaningowym były szczególnie przydatne podczas obserwacji sposobu wykształcenia spoiwa oraz efektów przemian diagenetycznych. Z kolei na podstawie analizy granulometrycznej wyznaczono statystyczne parametry uziarnienia, w tym graficzną średnią średnicę (GSS), graficzne odchylenie standardowe (GSO) oraz graficzną skośność (GSK).

Badania właściwości fizyko-mechanicznych piaskowców obejmowały oznaczenie gęstości objętościowej, nasiąkliwości wagowej i objętościowej oraz wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym. Dodatkowo jako metodę uzupełniającą zastosowano badania ultradźwiękowe, w ramach których przeprowadzono pomiary prędkości fali podłużnej w stanie powietrzno-suchym i w stanie nasycenia wodą. Na ich podstawie określono wartość współczynnika anizotropii A oraz wskaźnika zmiany prędkości B.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na wskazanie odmian piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich o najkorzystniejszych właściwościach użytkowych.

Na podstawie przeprowadzonych w pracy badań sformulowano następujące wnioski:

1. Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich stanowią wypadkową zróżnicowanych warunków ich sedimentacji i diagenety oraz lokalnie silniej zaznaczających się procesów wietrzeniowych.

2. Spośród odmian blocznych korzystne właściwości użytkowe posiadają dolnojurajskie piaskowce płytkiego szelfu silikoklastycznego, a podrzędnie piaskowce deltowe, o drobnym i bardzo drobnym uziarnieniu, na ogół dobrym wysortowaniu składników, stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu oraz spoiwie zbudowanym głównie z regeneracyjnej krzemionki, z silniej zaznaczającymi się przejawami kompaktacji mechanicznej, rzadziej chemicznej. Słabsze parametry fizyczno-mechaniczne pozostałych odmian piaskowców przybrzeżnych, brzegowych oraz deltowych wynikają natomiast z większej zawartości składników niestabilnych mechanicznie lub chemicznie, w tym łyszczyków, litoklastów ilasto-okruchowych, a podrzędnie również skaleni, spadku udziału regeneracyjnej krzemionki na rzecz spoiwa typu matrix oraz ilastego, obecności zaawansowanych procesów rozpuszczania i przeobrażania skaleni (podrzędne znaczenie w związku z niewielkim udziałem tych składników) oraz łyszczyków, dodatkowo lokalnie niekorzystny wpływ ma również drobniejsze uziarnienie skał, odpowiadające frakcji gruboziarnistych pyłowców.

Possibilities of the Utilization of Jurassic Sandstones in the North-Western Margin of the Świętokrzyskie Mountains as Architectural Stones Depending on Their Lithology

Abstract

Jurassic sandstones occurring in the north-western margin of the Świętokrzyskie Mountains are the rocks of the long traditions of mining and utilization for building purposes. The increasing demand for the sandstones in the architectural applications, primarily used in the form of slabs as well as smaller dimension stones (the split tiles and other dimension elements), has caused numerous sandstone deposits have been recognized in the investigated area in the recent years. The extracted raw materials exhibit a considerable diversity of the quality and therefore they have various suitability for dimension elements production. Despite the growth of the discussed Jurassic sandstones output, the influence of the lithological diversity of these rocks on their properties has not yet been assessed.

The results of sedimentological studies published in the recent years, provided some new data concerning the deposition conditions of the Lower Jurassic sediments on the investigated area. According to them the sandstones from the deposits investigated in this dissertation have been classified as the deltas, shore (foreshore) or shallow silicoclastic shelf sediments (nearshore). Regarding the stratigraphic position, they represent the Skłoby, Ostrowiec and Borucice formations.

The research objective of the study has been to determine the influence of sedimentary and diagenetic processes on the lithology of sandstones from analyzed deposits. The application goal of the study has been to assess the suitability of sandstones with varied lithology, formed in the course of the above mentioned processes as the architectural stones. The applications of rock for these purposes is determined by the three important factors, such as physico-mechanical properties, decorative values as well as the high yield of blocks of a certain volume and regular shapes. The comprehensive characteristics of the Jurassic sandstones, including the sedimentary and lithological features, as well as their quality, have been conducted separately for dimension and non-dimension sandstones varieties.

The implementation of the objectives of the study required conducting field and laboratory research, preceded by literature studies. For field research, 15 sandstone deposits were selected, which were regularly or periodically extracted in the recent years. On the basis of

the macroscopic observations of the sedimentary and the lithological features, the 10 sandstone types has been distinguished. Seven of them (occurring in the profile of 10 deposits) are suitable for blocks extraction whereas the remaining three (occurring in the profile of 8 deposits) – due to the small beds thicknesses – can be used exclusively for split tiles manufacturing.

The samples of various types of Jurassic sandstones, from the investigated mines, has been the subject of the petrographic and physico-mechanical analysis. The first of them included the observations in the polarizing microscopy (passing light). Within this study a microscopic quantitative analysis and granulometric analysis was also performed. Scanning electron microscopy (SEM) was used as a complementary method in combination with the chemical composition analysis with use of X-ray spectrometer (EDS). The chosen methodology allowed the clastic sediments composition of the sandstones as well as cement and matrix content to be identified and determined. The sandstones were classified according to the Pettijohn classification triangles. Moreover, the clastic sediments sorting, as well as grains roundness and sizes were determined. The scanning electron microscope method was particularly useful for the observations of the cements and diagenetic processes effects. On the basis of the results of the granulometric analysis the grain size statistical parameters (graphic dimension of grains, graphic standard deviation and graphic skewness) were defined.

Research on physico-mechanical properties of investigated sandstones included the determination of volume density, water absorption and compressive strength in air-dry conditions. As a complimentary method to assess the heterogeneity of the rock samples, the ultrasonic method were applied. On the basis of this research, the varieties of Jurassic sandstones of the north-western margin of the Świętokrzyskie Mountains of the highest quality were indicated.

Based on the research carried out in the study, the following conclusions have been drawn:

1. Possibilities of utilization of Lower Jurassic sandstones of the northwestern margin of the Świętokrzyskie Mountains are the results of varied sedimentation and diagenesis conditions, and – locally – also of more intensive weathering processes.
2. Among investigated dimension sandstones varieties, Lower Jurassic shallow silicoclastic shelf sandstone and – to some extent – deltas sandstone, due to its fine and very fine granulation, good grains sorting, relatively high content of quartz, cement composed mostly of regeneration silica, with visible manifestations of mechanical (rarely chemical) compaction have the most favourable utility features. The weaker physico-mechanical parameters of other varieties of Lower Jurassic nearshore, shore (foreshore) and deltas sandstones are the result of the higher content of mechanically or chemically unstable components (including mica, clastic clayey rock fragments, rarely feldspars), decrease of share of regeneration silica cement in favor of matrix or clay minerals cement, the presence of advanced processes of dissolving and transformation of mica and feldspars. In some cases, the fine grain size of the rock (coarse grained mudstone) is also unfavourable.