



Katarzyna GUZIK*

Piaskowce formacji ostrowieckiej północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich – zmienność litologii i parametrów fizyczno-mechanicznych a możliwości surowcowego wykorzystania

Streszczenie: W artykule przedstawiono zróżnicowanie litologii i właściwości fizyczno-mechanicznych piaskowców formacji ostrowieckiej z dziewięciu złóż w północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Ustalono, iż piaskowce te reprezentują osady strefy przybrzeżnej płytkiego zbiornika brakiczno-morskiego, a prawdopodobnie również systemów depozycyjnych deltowych. Wyróżniono siedem odmian piaskowców o zróżnicowanej przydatności jako kamienie architektoniczne, wykazujących zmienność w zakresie uławicenia, barwy, uziarnienia, stopnia zwięzłości oraz występujących struktur sedimentacyjnych. Największe znaczenie gospodarcze mają cztery odmiany piaskowców blocznych, ze złóż w rejonie Żarnowa, wykazujące przydatność do produkcji płyt okładzinowych. Oprócz nich, w kamieniołomach w Treście Wesołej, Mroczkowie Gościńnym i Kraszkowie, wyróżniono trzy odmiany piaskowców cienko- i średnioławicowych, wykorzystywanych jako kamień murowy, bądź tzw. dzikówka. Przeprowadzone badania właściwości fizyczno-mechanicznych wykazały, iż omawiane odmiany piaskowców różnią się głównie pod względem wartości wytrzymałości na ściskanie i prędkości fali podłużnej, w mniejszym stopniu gęstości pozornej oraz nasiąkliwości.

Słowa kluczowe: piaskowce formacji ostrowieckiej, litologia, właściwości fizyczno-mechaniczne, kamień architektoniczny

Sandstones of the Ostrowiec Fm. in the North-Western margin of the Świętokrzyskie Mountains – variability of lithology and physico-mechanical properties and the possibilities of economic utilization

Abstract: The paper presents information about the diversity of lithology, sedimentary features as well as physico-mechanical properties of the Ostrowiec Fm. sandstones from nine deposits occurring in the North-Western margin of the Świętokrzyskie Mountains. The sandstones represents sediments of brackish-marine, nearshore and

* Mgr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: guzik@min-pan.krakow.pl

probably deltaic depositional system. Seven types of sandstones of different thickness of beds, colour, grain size, and type of sedimentary structures, as well as varying suitability as an architectural stone have been distinguished. Four varieties of dimension sandstone, form deposits in the Żarnów area, utilized for slabs production are of the greatest economic importance. Three other types of sandstones, form deposits in Tresta Wesola, Mroczków Gościenny and Kraszków, occurring in the form of thin and medium thickness of beds, suitable for the smaller dimension stone and split tiles production. Physico-mechanical analyses revealed that the varieties of sandstones differ mainly in terms of compressive strength and a longitudinal wave propagation speed values and to a smaller extent, the apparent density and water absorption values.

Keywords: Ostrowiec Fm. sandstones, lithology, physico-mechanical properties, architectural stone

Wprowadzenie

Piaskowce dolnej jury (liasu) wykazujące przydatność jako kamienie architektoniczne występują w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich w obrębie różnowiekowych jednostek litostatygraficznych. Wśród blisko 1000-metrowego, w przewadze piaskowcowo-mułowcowego kompleksu skał terygeniczných (Kozydra 1968), znaczenie złożowe posiadają piaskowce formacji skłobskiej (hetang), ostrowieckiej (synemur), gielniowskiej i drzewickiej (pliensbach) oraz borucickiej (toark). W NW części obrzeżenia źródłem pozyskiwania piaskowców są trzy z wymienionych formacji, a największe ilości kopaliny dostarczają złoża zaliczane do formacji ostrowieckiej.

Osady poszczególnych formacji litostatygraficznych powstawały w zróżnicowanych środowiskach sedymentacyjnych, opisywanych m.in. przez Karaszewskiego (1960), Jurkiewiczową (1967), a ostatnio szczegółowo scharakteryzowanych w pracy Pieńkowskiego (2004). Interpretacje te wskazują, iż akumulacja w basenie epikontynentalnym dolnej jury przebiegała głównie w płytkim zbiorniku brackiczno-morskim (systemy depozycyjne przybrzeżne, barierowo-lagunowe i deltowe), z naprzemianległymi cyklami transgresywno-regresywnymi i lokalnie zachowaną fauną morską (Pieńkowski 2004). Podrzędnie osady powstawały w warunkach lądowych, w środowiskach limniczno-aluwialnych. Sporadycznie dokumentuje to znajdująca w pozycji wzrostu flora (Karaszewski 1962). Z utworów jury znane są również tropy kręgowców, w tym dinozaurów (Gierliński i Pieńkowski 1999). Osady tego wieku wykazują zmienność facjalną zarówno w profilu pionowym, jak też lateralnie. Obserwowane następstwo warstw o zróżnicowanej miąższości i charakterze litologicznym odzwierciedla warunki panujące w różnych częściach liasowego basenu sedymentacyjnego.

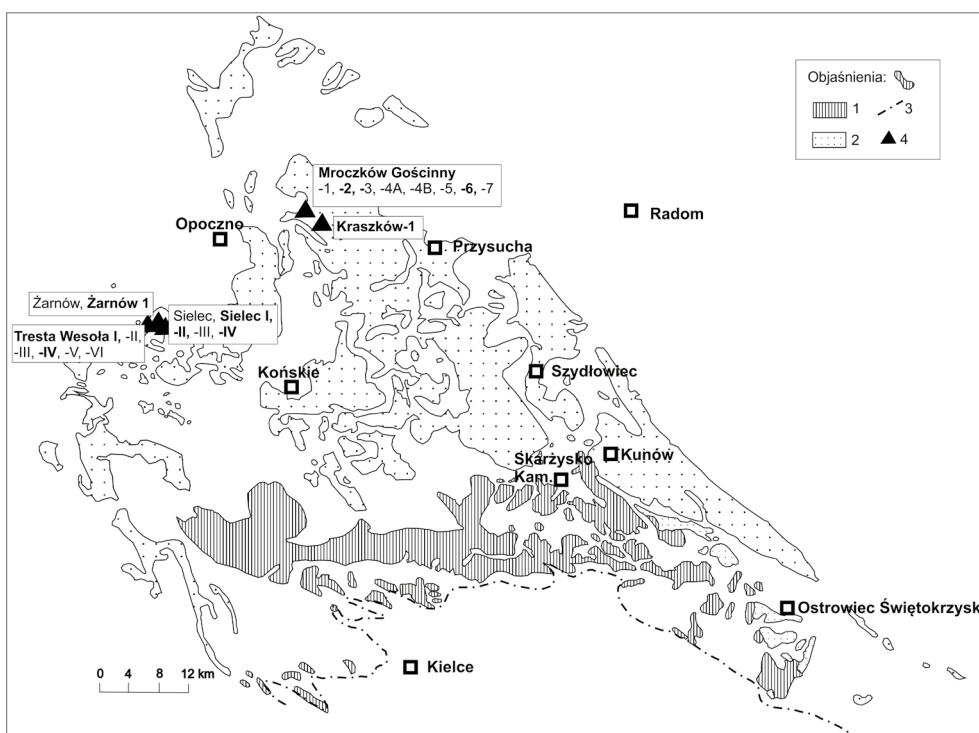
Niejednorodny przebieg procesów sedymentacji jest obok warunków diagenety, a także późniejszych zmian właściwości na skutek wietrzenia, jedną z przyczyn zmiennej jakości i przydatności gospodarczej piaskowców zaliczanych do poszczególnych formacji jury dolnej. Różnice w wykształceniu litologicznym zaznaczają się również w odniesieniu do osadów tego samego wieku, przejawiając się występowaniem w profilach złożowych odmian piaskowców blocznych i nieblocznych, zwięzłych i rozsypliwych, czy też laminowanych i bezstrukturalnych.

W artykule przedstawiono charakterystykę litologiczną piaskowców formacji ostrowieckiej z dziewięciu wybranych złóż w NW obrzeżeniu Gór Świętokrzyskim z uwzględnieniem warunków ich sedymentacji. W profilach wyrobisk eksploatacyjnych wydzielono odmiany piaskowców o różnych właściwościach użytkowych, a w szczególności wykazujących cechy

kamieni blocznych. Dla każdej z nich określono zakres zmienności parametrów fizyczno-mechanicznych, stanowiących jedno z istotnych kryteriów oceny jakościowej materiałów kamiennych.

1. Lokalizacja analizowanych złóż

Złóża piaskowców formacji ostrowieckiej w NW obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich grupują się w dwóch rejonach (rys. 1). Pierwszy z nich, zlokalizowany jest na południowo-zachód od Żarnowa – w miejscowościach Sielec i Tresta Wesoła (złoża Sielec I, Sielec II,



Rys. 1. Lokalizacja złóż piaskowców formacji ostrowieckiej w NW 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 formacji ostrowieckiej (złoża analizowane w prezentowanym artykule zaznaczono pogrubioną czcionką)

Fig. 1. Location of Ostrowiec Fm. sandstone deposits in the NW margin of the Świętokrzyskie Mountains on the background of the sketch map with the extent of the Jurassic and Triassic sandstone complexes (according to Ruśkiewicz-Saab and Kita-Badak 1975, modified)
 1 – Triassic sandstones occurrence, 2 – Jurassic sandstones occurrence,
 3 – the Northern boundary of the Paleozoic internal structure of the Świętokrzyskie Mountains,
 4 – sandstone deposits of Ostrowiec Fm. (deposits examined in the article in bold)

Sielec IV, Żarnów I, Tresta Wesoła I, Tresta Wesoła IV), drugi na północny-wschód od Opoczna – w Kraszkowie (złóże Kraszków 1) oraz Mroczkowie Gościnnym (złóża Mroczków Gościnnny-2, -6.). Złóża znajdują się w granicach dwóch jednostek strukturalnych, tj. antykliny Żarnowa oraz antykliny Mroczkowa, zaliczanych przez Pożaryskiego (1974) odpowiednio do megaantykliny Radoszyc i megaantykliny Gielniowa. Obszar ten stanowi najdalej wysunięty na północny-zachód fragment pasa wychodni formacji ostrowieckiej spod osadów czwartorzędowych. Udokumentowane w tym rejonie piaskowce znajdują swój odpowiednik wiekowy również we wschodniej części obrzeżenia, w pobliżu Szydłowca, gdzie eksploatowanych jest kilka złóż w miejscowości Broniów.

2. Charakterystyka litologiczna piaskowców i warunki ich sedymentacji

Piaskowce formacji ostrowieckiej tworzą wraz z oddzielającymi je mułowcami i ilowcami kompleks o miąższości sięgającej w północnym i zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich według różnych źródeł od około 70–90 m (Jurkiewiczowa 1967), przez około 200 m (Karaszewski 1962), do nawet 224 m (otwór Opoczno PIG 2). Skąły te, odpowiadające wiekowo wyróżnianej przez Karaszewskiego (1960) serii ostrowieckiej i koszorowskiej, a przez Jurkiewiczową (1967) serii żarnowskiej, datowane są na synemur (dolny lias). Szczegółowe interpretacje paleośrodowiskowe i sedymentologiczne oraz przeprowadzona analiza sekwencyjna (Pieńkowski 2004) wskazują, iż geneza osadów formacji ostrowieckiej związana jest głównie ze strefą przybrzeżną płytkiego epikontynentalnego zbiornika brackiczno-morskiego. Głębokość tego zbiornika sięgała maksymalnie kilkudziesięciu metrów, najczęściej nie przekraczając 20 m. Podrzednie akumulacja odbywała się w środowisku barierowo-lagunowym, deltowym i rzeczynym.

2.1. Złóża okolic Żarnowa

W złóżach 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. Oddzielność piaskowców jest na ogół niewyraźna, podkreślona obecnością cienkich wkładek ilastych. Skąły zalegają niemal poziomo lub pod niewielkim kątem w kierunku NW (lokalnie w kierunku NE), stąd też najstarsze kompleksy piaskowcowe dostępne są do obserwacji w kamieniołomach Sielec I, -II, -IV oraz Żarnów 1, podczas gdy młodsze odsłaniają się w pobliskich kamieniołomach w Treście Wesołej. Dolna część profilu zdominowana jest przez piaskowce średnio i gruboławicowe. Kontakt tych osadów z nadległą serią piaskowców średnio i cienkoławicowych stwierdzony został w kamieniołomie Tresta Wesoła I.

Omawiane osady piaskowcowo-ilaste, zaliczane przez Pieńkowskiego (2006) do przybrzeża dolnego i środkowego, a przez Złonkiewicza (2013) do strefy przejściowej 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 inten-

sywności 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 piaskowce o laminacji przekątnej niskokątowej i warstwowaniu smużystym. Laminacja podkreślona jest zmianą uziarnienia, obecnością widocznych na płaszczyznach oddzielności blaszek łyszczyków, bądź też smug o ciemnym zabarwieniu. Na ogół nieznaczna część odsłoniętych profili litologicznych stanowią piaskowce bezstrukturalne.

W kamieniołomach złóż Sielec I, Sielec IV, Żarnów 1 oraz Tresta Wesoła I stwierdzono występowanie osadów cykli sztormowych, czyli tzw. tempestytyw, z charakterystycznym warstwowaniem przekątnym kopułowym (por. Dott i Bourgeois 1982; Pieńkowski 2004). Aktywności sztormów dowodzi również obecność ławic o silnie pofalowanej powierzchni stropowej, obserwowanych 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. Z kolei na okresowe osłabienie falowania i siły prądów wskazują lokalnie występujące bioturbacje osadu, w tym poziomy jamek mieszkalnych.

Wewnątrz ławic piaskowców o laminacji płaskiej, rzadziej laminacji przekątnej niskokątowej, obserwowane są rozmycia, wypełnione najczęściej materiałem bezstrukturalnym. Mechanizm powstawania tego rodzaju struktur przypisywany jest działaniu silnych prądów dennych bądź falowania (Shrock 1948), prowadzących do erozji skonsolidowanego wcześniej osadu. Pieńkowski (2004) przychyliła 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-ilastych heterolitów. Ich występowanie związane jest z wyrobiskami złóż Sielec I, -II, -IV.

Nadległy fragment profilu osadów formacji ostrowieckiej, odsłaniający się w kamieniołomach piaskowców w Treście Wesołej, stanowi kontynuację sedimentacji przybrzeżnej, z licznymi poziomami warstwowania kopułowego. Rozpoczynają go amalgamowane ławice piaskowców, o miąższości do około 2,6 m. Są to na ogół piaskowce bezstrukturalne, w górnej części ławic wykazujące płaską i przekątną niskokątową laminację. Na powierzchniach ławic obserwowane są riplemarki półksiężycowate. W skałach zachowały się odciski drewna o długości kilku/kilkunastu cm, obserwowane we wcześniej omawianych kamieniołomach w Sielcu tylko sporadycznie. W obrębie dwóch najniższych ławic występują dużych rozmiarów soczewki mułowców o długości 30–60 cm. W górę profilu następuje znaczna redukcja miąższości ławic i przejście do osadów średnio-, a następnie cienkoławicowych. Stropowa powierzchnia ławic jest często łagodnie pofalowana. Wzrasta udział i miąższość wkładek ilastych. W najwyższej części profilu obserwowane są zespoły ławic warstwowych przekątnie.

2.2. Złoża okolic Opoczna

Występujące w rejonie Opoczna kompleksy piaskowcowe formacji ostrowieckiej, scharakteryzowane na podstawie danych z otworu wiertniczego Opoczno PIG 2 przez Złonkiewi-

cza (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 warstwowane przekątnie.

Profil osadów formacji ostrowieckiej w złożach rejonu Opoczna rozpoczynają zalegające powyżej serii czarnych mułowców silnie spękanę żółto-brunatne, laminowane piaskowce, z nagromadzeniami związków żelaza w postaci smug i „żyłek” 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 położonych na tzw. Jaziej Górze, w tym w wyrobiskach złóż Mroczków Gościnnny-2 i -6. Wykształcona jest w postaci cienkoławicowych piaskowców o barwie żółtej w partiach spągowych, ku stropowi przechodzącej w jasnoszarą. Skały wykazują na ogół poziomą laminację, a tylko podrzędnie warstwowanie przekątnie. Na powierzchniach stropowych ławic obserwowane są riplemarki. W piaskowcach występujących w dolnej części profilu spotykane są fragmenty drewna o długości kilkunastu cm, rzadziej około 30 cm oraz rozproszona substancja organiczna. Na powierzchniach spągowych ławic obserwowane są biohieroglify.

3. Wyróżnione odmiany piaskowców

Przeprowadzone w wyrobiskach eksploatacyjnych dziewięciu analizowanych złóż obserwacje i pomiary terenowe stanowiły podstawę wydzielenia łącznie siedmiu odmian piaskowców o zróżnicowanych walorach użytkowych i przydatności gospodarczej (tab. 1 i 2).

TABELA 1. Wykaz analizowanych złóż piaskowców formacji ostrowieckiej (stan na 31.12.2014, Bilans zasobów... 2015)

TABLE 1. List of examined sandstones deposits of Ostrowiec Fm. (as of 31.12.2014, BZZK 2015)

L.p.	Złoże	Zasoby bilansowe [tys. Mg]	Wielkość wydobycia [tys. Mg]	Możliwość pozyskiwania kamieni blocznych	Możliwość pozyskiwania cienkich kształtek i/lub kamieni murowych
1	Kraszków-1	91	<0,5	–	+
2	Mroczków Gościnnny-2	5	–	–	+
3	Mroczków Gościnnny-6	9	1	–	+
4	Sielec I	131	3	+	+
5	Sielec II	256	<0,5	+	–
6	Sielec IV	215	1	+	+
7	Tresta Wesoła I	154	–	+	+
8	Tresta Wesoła IV	104	<0,5	–	+
9	Żarnów 1	337	2	+	+

TABELA 2. Podstawowe cechy litologiczne wyróżnionych odmian piaskowców formacji ostrowieckiej NW obrzeżenia Gór Świętokrzyskich na tle środowiska ich sedymentacji

TABLE 2. Basic lithological features of the varieties of Ostrowiec Fm. sandstones in the NW margin of the Świętokrzyskie Mountains with reference to the sedimentary environments

Odmiana	Środowisko sedymentacji ¹	Występowanie/ /złoże	Ułtawienie	Barwa	Uziarnienie	Struktury sedymentacyjne	Zwięźłość	Pozostałe cechy
I	górne/środkowe przybrzeże	Sielec I	jedna gruba ławica	jasnoszara jasnożółta	drobnoziarniste	bezszyfrowane (lokalnie słabo widoczna laminacja)	zwięźłe	głębokie kanały erozyjne na powierzchni ławicy
	strefa przybrzeżna zbiornika brackiczno-morskiego	Sielec IV	średnioławicowe gruboławicowe	wielobarwne	bardzo drobnoziarniste	laminacja pozioma, podłużne warstwowanie kopulowe	zwięźłe, słabo zwięźłe	–
III	dolne/środkowe przybrzeże	Sielec I, Sielec IV, Tresta Wesoła I, Żarnów I	średnioławicowe gruboławicowe, bardzo gruboławicowe (sporadycznie)	jasnoszara, jasnożółta	bardzo drobnoziarniste	tekstura kierunkowa (laminacja pozioma, podłużne laminacja przekątna niskokątowa i kopulowa, warstwowanie smużyste)	zwięźłe, słabo zwięźłe	amalgamacja ławic megariplemarki, riplemarki, hieroglify prądowe, kanały erozyjne, rozmycia wewnątrzławicowe, odciski drewna, konkrekcje żelaziste i piaszczyste, sporadycznie bioturbacje osadu
	strefa przybrzeżna zbiornika brackiczno-morskiego	Sielec II, Sielec IV, Żarnów I, Tresta Wesoła I	od średnio do bardzo gruboławicowych	jasnoszara	bardzo drobno- i drobnoziarniste	bezszyfrowane (lokalnie słabo wyraźna laminacja)	zwięźłe, rozsypliwie (złoże Sielec IV)	amalgamacja ławic, megariplemarki, konkrekcje
V		Tresta Wesoła I, IV	cienkoławicowe, średnioławicowe	jasnoszara, żółta, czerwona	drobnoziarniste	laminacja pozioma, laminacja przekątna	zwięźłe	riplemarki, odciski drewna
VI	dolny/trzeci meandrujący?/szelf?	Kraszków I	cienkoławicowe, średnioławicowe	jasnoszara, brudnatożółta	drobnoziarniste	laminacja pozioma	słabo i umiarkowanie zwięźłe	substancja organiczna, biohieroglify, koncentracje związków żelaza w formie smug i „żyłek”
		Mroczków Gościmny-2, -6	cienkoławicowe, średnioławicowe	jasnoszara, żółta	drobnoziarniste	laminacja pozioma i przekątna	zwięźłe	riplemarki, biohieroglify, odciski drewna, substancja organiczna

¹ Na podstawie: Pienkowski 2004, 2006, Złonkiewicz 2006, 2013, obserwacje własne

Skały te wykazują zmienność w zakresie cech litologiczno-sedymentacyjnych, takich jak uławiczenie, barwa, uziarnienie, stopień zwięzłości oraz rodzaj występujących struktur sedymentacyjnych. Niektóre z wyróżnionych odmian stwierdzono tylko w jednym wyrobisku, podczas gdy wykształcenie innych śledzić można na terenie kilku złóż. Poszczególne odmiany piaskowców często występują naprzemianległe w profilu złoża, a zdarza się również, że w nawet obrębie tej samej ławicy.

Wyróżniono łącznie cztery odmiany piaskowców (odmiany I–IV) wykazujących przydatność do produkcji kamieni blocznych oraz trzy odmiany piaskowców wydobywanych w postaci cienkich kształtek nie poddawanych dalszej obróbce mechanicznej (odmiany V–VII), czyli tzw. dzikówki lub łupanki wykorzystywanej na ogół jako kamień ogrodowy (tab. 2).

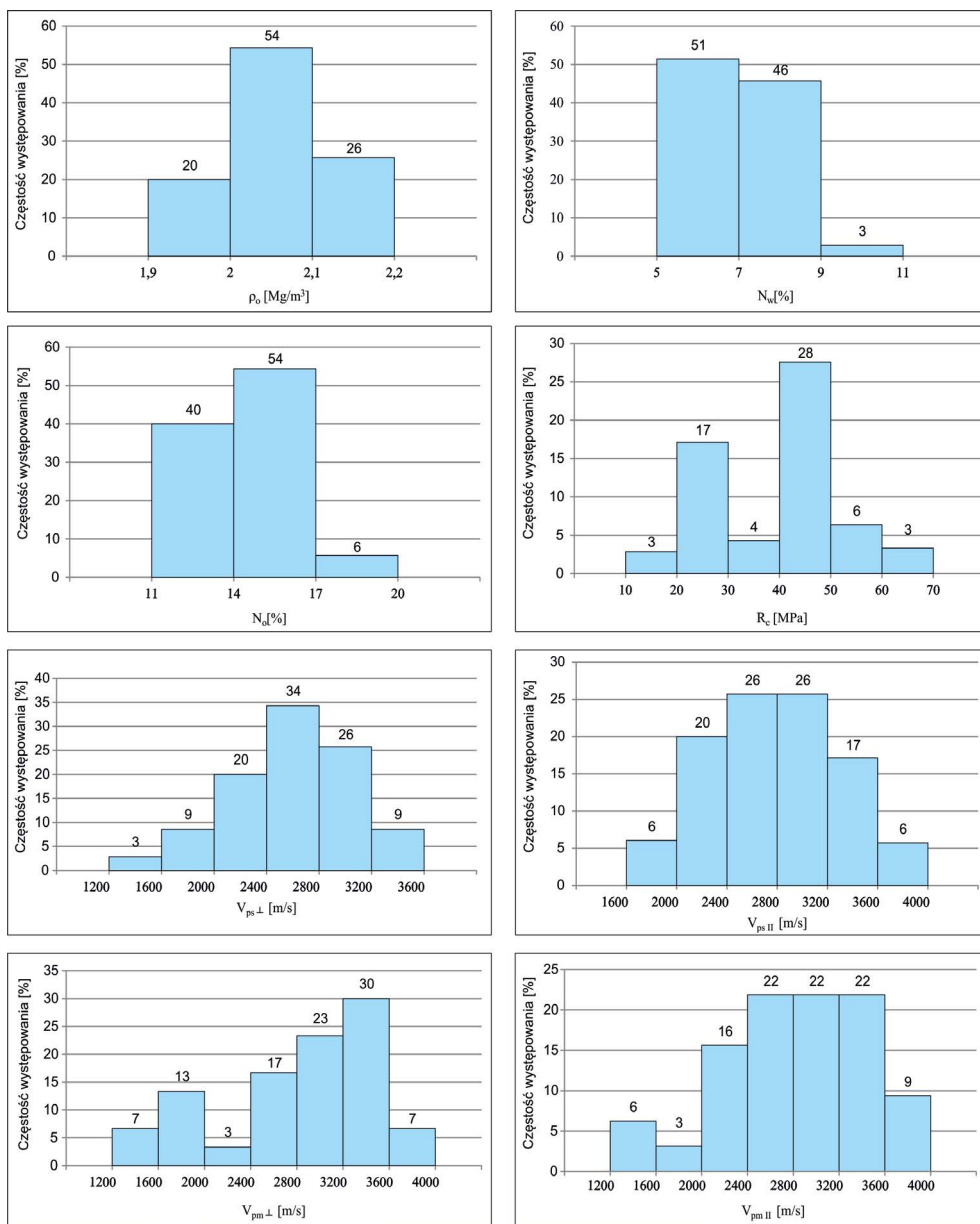
4. Właściwości fizyczno-mechaniczne

Właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców formacji ostrowieckiej nie stanowiły dotychczas przedmiotu odrębnych opracowań. Dane na ten temat, zamieszczone w dokumentacjach geologicznych tylko wybranych złóż (karty złóż – baza danych MIDAS PIG-PIB), przedstawiają się następująco:

- gęstość pozorna: 1,99–2,68 Mg/m³; śr. 2,01–2,65 Mg/m³; (górną wartość wskazuje, iż dane te prawdopodobnie dotyczą częściowo gęstości właściwej),
- nasiąkliwość wagowa: 7,00–8,09%, śr. 7,00–8,00%,
- wytrzymałość na ściskanie: 26,8–60,0 MPa; średnio 36,7–55,0 MPa.

Badania właściwości fizyczno-mechanicznych piaskowców z analizowanych złóż, których wyniki prezentowane są w artykule, obejmowały oznaczenie gęstości objętościowej, nasiąkliwości wagowej i objętościowej oraz wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym. Jako metodę uzupełniającą zastosowano nieniszczące badania ultradźwiękowe, pozwalające na ocenę niejednorodności materiału skalnego. W ramach tych badań przeprowadzono pomiary prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w stanie powietrzno-suchym i w stanie nasycenia wodą. Na wartość tego parametru istotny wpływ ma m.in. porowatość skały (niska prędkość fali w powietrzu – około 0,3 km/s), jej skład mineralny, kierunkowość ułożenia składników i mineralizacja, a także obecność mikrospeków i szczelin (Pinińska i Płatek 2002). W wielu dotychczasowych pracach wykazano, iż wyniki badań ultradźwiękowych korelują się z innymi parametrami fizyczno-mechanicznymi skał, tj. wzrastają wraz ze wzrostem gęstości i wytrzymałości na ściskanie, a spadają wraz z rosnącą nasiąkliwością (Basista i Krynicki 1981; Pinińska i Płatek 2002). Oznaczenie właściwości fizyczno-mechanicznych przeprowadzono na 35 kostkach sześciennych o wyszlifowanych powierzchniach i długości krawędzi 5 cm. Pomiary wykonano na podstawie zapisów obowiązujących norm (PN-EN 13755; PN-EN 1926), uwzględniając wprowadzony podział na odmiany. Pomiar prędkości fali podłużnej przeprowadzono metodą przejścia, za pomocą defektoskopu ultradźwiękowego. Do badania wykorzystano głowice o częstotliwości 1 MHz.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów piaskowce z analizowanych złóż zaliczone zostały zgodnie z normą PN-84/B-01080 do skał średnio ciężkich, średnio nasiąkliwych, o słabej, sporadycznie tylko średniej wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład gęstości pozornej (ρ_0), nasiąkliwości wagowej (N_w) i objętościowej (N_v), wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym (R_c) oraz prędkości fali podłużnej w stanie powietrzno-suchym ($V_{ps\perp}$ i $V_{ps\parallel}$ – w kierunku prostopadłym i równoległym do uławicenia) i oraz w nasyceniu wodą ($V_{pm\perp}$ i $V_{pm\parallel}$ – j.w.)

Fig. 2. Distribution of the apparent density (ρ_0), water absorption in reference to rock weight (N_w), water absorption in reference to rock volume (N_v), compressive strength in air-dry conditions (R_c), and longitudinal wave velocity in air-dry conditions ($V_{ps\perp}$ i $V_{ps\parallel}$ – in direction perpendicular and parallel to stratification) and in water-saturated samples ($V_{pm\perp}$ i $V_{pm\parallel}$ – as above)

Gęstość objętościowa (ρ_o) badanych próbek zmienia się w wąskim przedziale od 1,95 do 2,19 Mg/m³, średnio 2,06 Mg/m³ (rys. 2, tab. 3). Najmniejsze wartości notowane są dla wielobarwnych, poziomo laminowanych piaskowców odmiany II. Największą gęstość wykazują natomiast piaskowce cienkoławicowe odmian V–VII, w tym piaskowce ze złoża Kraszków-1, o znacznej koncentracji związków żelaza w formie smug i żyłek.

Nasiąkliwość wagowa (N_w) badanych próbek przyjmuje wartości między 5,66 a 9,03%, średnio 7,07% (rys. 2, tab. 3). Nasiąkliwość objętościowa (N_o), stanowiąca odpowiednik otwartej porowatości, kształtuje się na dwukrotnie wyższym poziomie (12,05–17,61%, średnio 14,53%). Najmniejsze wartości tego parametru wykazują odmiany piaskowców cienko- i średnioławicowych V–VII, a także odmiany (III–IV) reprezentujące średnio-, grubo-, a podrzędnie bardzo gruboławicowe piaskowce bezstrukturalne i laminowane. Słabiej pod tym względem prezentują się wielobarwne, laminowane piaskowce odmiany I, a także wykazujące grubsze od nich uziarnienie piaskowce odmiany II.

Wytrzymałość na ściskanie (R_c) analizowanych próbek zmienia się w szerokim przedziale, między 19,12 a 66,05 MPa, średnio 43,34 MPa (rys. 2, tab. 3). W górnych zakresach

TABELA 3. Podstawowe właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców formacji ostrowieckiej z analizowanych złóż

TABLE. 3. Basic physico-mechanical properties of Ostrowiec Fm. sandstones from the examined deposits

Odmiana	Złoże	Gęstość pozorna [Mg/m ³]		Nasiąkliwość wagowa [%]		Nasiąkliwość objętościowa [%]		Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym [MPa]	
		od	do	od	do	od	do	od	do
		śr.		śr.		śr.		śr.	
I	Sielec I	1,98	2,03	7,63	8,61	15,54	17,04	48,70	48,90
		2,01		8,12		16,29		48,80	
II	Sielec IV	1,98	2,03	7,57	8,47	15,38	16,77	21,00	45,84
		2,00		7,95		15,94		31,21	
III	Sielec I, Sielec IV, Tresta Wesoła I Żarnów I	2,03	2,08	6,31	7,55	13,11	15,32	19,12	65,03
		2,06		6,89		14,20		46,49	
IV	Sielec II, Sielec IV, Żarnów I, Tresta Wesoła I	1,95	2,14	6,07	9,03	12,85	17,61	26,52	50,91
		2,04		7,39		15,02		41,46	
V	Tresta Wesoła I–IV	2,11	2,13	5,66	6,39	12,05	13,46	36,66	66,05
		2,12		6,03		12,76		48,50	
VI	Kraszków-1	2,11	2,15	6,20	7,03	13,36	14,84	27,73	32,35
		2,13		6,62		14,10		30,04	
VII	Mroczków Gościny-2, -6	2,09	2,19	5,98	6,98	12,51	15,32	47,07	49,26
		2,14		6,48		13,91		48,16	

tych wartości plasują się piaskowce odmian blocznych I i III, tj. jasnoszare i jasnożółte piaskowce bezstrukturalne i drobnoziarniste oraz jasnoszare i jasnożółte, laminowane poziomo i przekątnie piaskowce bardzo drobnoziarniste. Spośród odmian piaskowców cienko- i średnioławicowych największą wytrzymałość wykazują skały z Tresty Wesolej i Mroczkowa Gościnnego, zaliczane do odmian V i VII, w odróżnieniu od na ogół słabo zwięzłych piaskowców odmiany VI ze złoża w Kraszkowie. Na niskim poziomie kształtuje się również wytrzymałość wielobarwnych, laminowanych piaskowców odmiany II.

W porównaniu do wyników badań właściwości fizyczno-mechanicznych przedstawionych na podstawie kart złóż (baza danych PIG-PIB) uzyskano nieco szersze zakresy zmienności poszczególnych parametrów, z wyjątkiem gęstości pozornej, w przypadku której dane zamieszczone w kartach złóż dotyczą zapewne częściowo gęstości właściwej.

Wyniki badań ultradźwiękowych wykazują szeroki przedział zmienności. Na podstawie pomiarów prędkości propagacji fali podłużnej (V_p) na próbkach suchych w kierunku prostopadłym do uławicenia ustalono, iż wartość tego parametru w analizowanych piaskowcach zmienia się od 1587 do 3446 m/s (rys. 2, tab. 3). Większe prędkości, w granicach od 1648 do 3779 m/s, odnotowano w kierunku zgodnym z uławiceniem skały. Prędkości fali podłużnej w kierunku prostopadłym do uławicenia dla blocznych piaskowców odmiany III i IV są zdecydowanie wyższe niż dla piaskowców odmian I i II. Podobne tendencje zaobserwować można dla prędkości mierzonej w kierunku zgodnym z uławiceniem. Spośród odmian piaskowców cienko- i średnioławicowych największe prędkości uzyskano w przypadku odmiany VI, ze złoża w Kraszkowie, prawdopodobnie w związku z podwyższoną zawartością związków żelaza. Kierunkowa zmienność propagacji fali ultradźwiękowej, związana jest z zarówno z laminacją skały, jak też może wynikać z różnego stopnia upakowania składników ziarnowych. Pomiar prędkości fali podłużnej przeprowadzone przez Pinińską (1994) dla dolnojurskich piaskowców z Szydłowca mieszczą się w górnym zakresie wartości uzyskanych dla analizowanych piaskowców formacji ostrowieckiej, tj. między 2691 a 3510 m/s.

Istotnych informacji dostarczają również wyniki badań ultradźwiękowych dla próbek nasyconych wodą, w której fala podłużna rozchodzi się znacznie szybciej niż w powietrzu. Stąd też zasadniczo wraz ze wzrostem nasiąkliwości i porowatości skały, notowany jest wzrost prędkości propagacji fali ultradźwiękowej. Przeprowadzone pomiary prędkości w kierunku prostopadłym do uławicenia wykazały, iż wartość tego parametru w analizowanych piaskowcach zmienia się od 1075 do 3874 m/s (rys. 2, tab. 4). Z kolei w kierunku równoległym do uławicenia parametr ten przyjmuje wartości między 1158 a 3869 m/s. Uzyskane wyniki wskazują na średnio kilkuprocentowy wzrost prędkości fali podłużnej, w szczególności w kierunku prostopadłym do uławicenia, dla piaskowców odmiany IV, III, V i VIII. W odróżnieniu od nich piaskowce odmiany I, II i VI charakteryzują się spadkiem prędkości fali podłużnej mierzonej w obydwu kierunkach. Można przypuszczać, iż sytuacja taka może mieć związek z występowaniem w spoiwie piaskowców minerałów ilastych, których wpływ na obniżenie prędkości fal podłużnych podkreśla m.in. Bała (2009).

Szczegółowa interpretacja uzyskanych wyników badań właściwości fizyko-mechanicznych dla poszczególnych odmian piaskowców wymaga przeprowadzenia badań petrograficznych. Pozwoli to na ustalenie zależności między składem ziarnowym, rodzajem i udziałem spoiwa, upakowaniem szkieletu ziarnowego oraz wysortowaniem osadów, a zakresem zmienności pomierzonych parametrów.

TABELA 4. Prędkość propagacji fali podłużnej w piaskowcach formacji ostrowieckiej z analizowanych złóż

TABLE 4. Longitudinal wave velocity of Ostrowiec Fm. sandstones from the examined deposits

Odmiana	Występowanie/ /złóże	Prędkość fali podłużnej V_p [m/s]			
		w stanie powietrzno-suchym		po nasyceniu H ₂ O	
		$V_{p\perp}$	$V_{p\parallel}$	$V_{p\perp}$	$V_{p\parallel}$
		od-do	od-do	od-do	od-do
		śr.	śr.	śr.	śr.
I	Sielec I	2 044–2 206	2 356–2 520	1 776–1 847	2 047–2 342
		2 125	2 438	1 812	2 195
II	Sielec IV	1 587–2 058	1 992–2 097	1 075–1 887	1 158–1 819
		1 764	2 057	1 425	1 524
III	Sielec I, Sielec IV, Tresta Wesoła 1 Żarnów 1	2 080–3 446	2 074–3 779	2 323–3 639	2 304–3 869
		2 820	3 054	3 101	3 179
IV	Sielec II, Sielec IV, Żarnów 1, Tresta Wesoła 1	1 874–3 007	1 648–3 459	2 639–3 875	2 661–3 796
		2592	2 723	3 121	3 175
V	Tresta Wesoła I–IV	1 861–2 964	2 323–3 092	1 703–3 293	2 169–3 050
		2499	2 724	2 680	2 649
VI	Kraszków-1	2 745–3 129	2 763–3 209	2 533–3 305	2 757–3 183
		2937	2 986	2 919	2 970
VII	Mroczków Gościenny-2, -6	2 378–2 562	2 282–2 546	2 746–2 899	2 314–2 551
		2 470	2 414	2 822	2 433

5. Dyskusja wyników

Głównym kierunkiem zastosowań piaskowców architektonicznych jest obecnie produkcja płyt okładzinowych zewnętrznych i wewnętrznych. Wykorzystywane w tym kierunku materiały kamienne o cechach kamieni blocznych powinny charakteryzować się zarówno korzystnymi właściwościami fizyczno-mechanicznymi, jak też atrakcyjnymi cechami wizualnymi, określanymi jako walory dekoracyjne.

W tym kontekście spośród analizowanych odmian piaskowców najkorzystniej prezentują się skały zaliczane do odmiany I i III, reprezentujące bezstrukturalne i laminowane piaskowce jasnoszare i jasnożółte o jednolitej barwie. Większa nasiąkliwość wagowa i objętościowa piaskowców odmiany I związana jest zapewne z ich grubszym uziarnieniem. Nieco słabsze parametry, w tym zwłaszcza mniejszą wytrzymałość na ściskanie, wykazują laminowane piaskowce odmiany II, określane ze względu na charakterystyczny układ wielobarwnych

lamin mianem piaskowca „dębowego”. Ostatnia spośród wyróżnionych odmian blocznych, oznaczona III, to piaskowce o barwie jasnożółtej i jasnoszarej, laminowane poziomo, z podrzędnie występującą laminacją przekątną niskokątową i kopułową oraz warstwowaniem smużystym. Przeprowadzone na pobranych w wyrobiskach „świeżych” próbkach wykazały, że skały te generalnie nie ustępują piaskowcom bezstrukturalnym pod względem właściwości fizyko-mechanicznych. Występują w nich jednak smugi substancji ilastej i łuszczyków, stanowiących materiał mniej odporny na działanie czynników atmosferycznych. Składniki te mogą z czasem ulegać wykruszeniu, co obserwowane jest na zwietrzałych ścianach wyrobiska w formie wypreparowanych pustek. Piaskowce omawianej odmiany, określane jako tzw. kamień z „liściem”, różnią się od wcześniej omówionych również pod względem cech wizualnych. Na powierzchni przeciętych płyt zaznacza się obecność dość regularnie rozmieszczonych smug o ciemniejszym zabarwieniu, powstałych w wyniku migracji riplemarków (łuki przyrostowe). Cechy te powodują, iż pomimo znacznych możliwości pozyskania bloków piaskowce te 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 małe płytki o zadanych wymiarach, czyli tzw. boniówkę.

Spośród odmian nie wykazujących cech kamieni blocznych najkorzystniejsze właściwości fizyczno-mechaniczne posiadają piaskowce odmiany V i VII, ze złóż Tresta Wesoła I i -IV i Mroczków Gościnnie-2 i -6.

Podsumowanie

Piaskowce formacji ostrowieckiej ze złóż w NW obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, zaliczane są do osadów strefy przybrzeżnej płytkiego zbiornika brakiczno-morskiego (złoża okolic Żarnowa) oraz związanych najprawdopodobniej z akumulacją deltową, (niewykluczone, że również przybrzeżną lub aluwialną – złoża z Mroczkowa Gościnnego i Kraszkowa). Na podstawie zmienności cech sedymentacyjno-litologicznych, w wyrobiskach eksploatacyjnych dziewięciu złóż wyróżnione zostały odmiany piaskowców o zróżnicowanych walorach użytkowych. Są to cztery odmiany piaskowców wykazujących przydatność do produkcji kamieni blocznych, występujące w kamieniołomach rejonu Żarnowa, w tym:

- piaskowce bezstrukturalne, lokalnie wykazujące słabo widoczną laminację, drobnoziarniste o jasnoszarej i jasnożółtej barwie,
- piaskowce laminowane, bardzo drobnoziarniste, wielobarwne, tzw. piaskowiec dębowy,
- piaskowce laminowane, podrzędnie z różnymi rodzajami laminacji przekątnej, bardzo drobnoziarniste, jasnoszare i jasnożółte, najczęściej z ciemnym smugowaniem, tzw. piaskowiec z liściem,
- piaskowce bezstrukturalne, lokalnie wykazujące słabo wyraźną laminację, o zróżnicowanym uziarnieniu i jasnoszarej barwie.

Oprócz nich wydzielono trzy odmiany piaskowców cienko- i średnioławicowych wykorzystywanych w postaci kamieni murowych i elementów łupanych (tzw. łupanki/dzikówki). Przeprowadzone badania fizyczno-mechaniczne wykazały, iż wyróżnione odmiany piaskowców nie wykazują znacznego zróżnicowania pod względem gęstości pozornej oraz

nasiąkliwości wagowej i objętościowej, zaznacza się natomiast zmienność ich wytrzymałości na ściskanie i prędkości fali podłużnej. Piaskowce zaliczone zostały do skał średnio ciężkich, średnio nasiąkliwych, o słabej, sporadycznie tylko średniej wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym. Spośród piaskowców blocznych najkorzystniejsze parametry wykazują skały zaliczane do odmiany III i IV. Ograniczona przydatność piaskowców odmiany III do produkcji płyt okładzinowych wynika z dwóch przyczyn. Pierwszą z nich jest występowanie smug o ciemniejszym zabarwieniu obniżających atrakcyjność wizualną skały, drugą – obecność smug zbudowanych ze składników mniej odpornych na działanie czynników atmosferycznych (minerałów ilastych, łuszczyków). Niemniej jednak nie wyklucza to możliwości wykorzystania skały do produkcji płyt okładzinowych. Spośród piaskowców cienko- i średnioławicowych, wykorzystywanych w formie cienkich kształtek i kamienia murowego, najkorzystniejsze parametry wykazują odmiany V i VII ze złóż Tresta Wesoła I i -IV i Mroczków Gościnnie-2 i -6.

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej IGSMiE PAN.

Literatura

- Bała, M. 2009. Badanie wpływu anizotropii i zailenia na prędkości rozchodzenia się fal podłużnych i poprzecznych oraz innych parametrów sprężystych skał klastycznych. *Zeszyty Naukowe AGH, Geologia* t. 35, z. 2/1, s. 559–566.
- Basista, S. i Krynicki, T. 1981. Właściwości petrofizyczne niektórych skał monokliny przedsudeckiej. *Przegląd Geologiczny* t. 29, nr 4.
- Baza danych MIDAS PIG-PIB.
- Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31.12.2014 r.* Wyd. PIG-PIB, Warszawa 2015.
- Dott, R.H.JR. i Bourgeois, J. 1982. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. *Geol. Soc. Am. Bull.* 93.
- Gallagher, E.L., Elgar, S. i Thornton, E.B. 1998. Megaripple migration in a natural surf zone. *Nature* 394, s. 165–168.
- Gierliński, G. i Pieńkowski, G. 1999. Dinosaur track assemblages from the Hettangian of Poland. *Geol. Quart.* 43.
- Gradziński i in. 1986 – Gradziński, R., Kostecka, A., Radomski, A. i Unrug, R. 1986. *Zarys sedimentologii*. Warszawa: Wyd. Geol.
- Jurkiewiczowa, I. 1967. Lias zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i jego paralelizacja z liasem Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. *Biul. Inst. Geol.* 200.
- Karaszewski, W. 1960. Nowy podział liasu świętokrzyskiego. *Kwart. Geol.* t. 4, nr 4, Warszawa
- Karaszewski, W. 1962. Stratygrafia liasu w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. *Pr. Inst. Geol.* 30.
- Kozydra, Z. 1968. Złoża dolnojurajskich ilów ogniotrwiałych na tle ogólnej budowy geologicznej północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Biul. Inst. Geol.* 216.
- Pieńkowski, G. 2004. The epicontinental Lower Jurassic of Poland. *Polish Geological Institute Special Papers* 12, s. 1–156.
- Pieńkowski, G. 2006. Field Trip B4. Lower Jurassic marginal marine and continental deposits – sedimentation, sequences and ecosystems. [W:] Wierzbowski, A., Aubrecht, R., Golonka, J., Gutowski, J., Krobicki, M., Matyja, B.A., Pieńkowski, G. i Uchman, A. red. *Jurassic of Poland and adjacent Slovakian Carpathians. Field Trip Guidebook of 7th International Congress on the Jurassic System*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Pinińska, J. red. 1994. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. I. Skały osadowe regionu świętokrzyskiego*. Zakład Geomechaniki UW.
- Pinińska, J. i Plątek, P. 2002. Badania ultradźwiękowe w ocenie wytrzymałości skał. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 2–3. PN-84/B-01080. Kamień dla budownictwa i drogownictwa. Podział i zastosowanie według własności fizyko-mechanicznych.

- PN-EN 1926. Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie.
- PN-EN 13755. Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym.
- Pożaryski, W. red. 1974. *Budowa Geologiczna Polski*, t. IV, *Tektonika*, cz. 1, *Niż Polski*. Warszawa: Wyd. Geologiczne, s. 322–349.
- Ruśkiewicz-Saab, M. i Kita-Badak, M. 1978. *Atlas geologiczno-surowcowy Gór Świętokrzyskich 1:200 000*. Surowce skalne. Surowce krzemionkowe związane. Warszawa: Wyd. Geologiczne.
- Schrock, R.R. 1948. *Sequence in layered rocks*. 507 pp. McGraw-Hill, New York
- Złonkiewicz, Z. 2006. Charakterystyka litologiczna. Jura dolna. [W:] Kowalczewski, Z. red. *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego Opczno PIG 2*, z. 111.
- Złonkiewicz, Z. 2013. Struktury sedimentacyjne w piaskowcach żarnowskich (formacja ostrowiecka, dolny synemur) w Sielcu koło Żarnowa (zachodnie obrzeżenie Gór Świętokrzyskich) [W:] Krobicki, M. i Feldman-Olszewska, A. red. *V Polska Konferencja Sedymologiczna POKOS 2013*. 16–19.05.2013. Żywiec, s. 268–270.

