

Wojciech Bartz*

orcid.org/0000-0002-7267-2776

Maciej Prarat**

orcid.org/0000-0001-7076-2009

Wyniki badań petrograficzno-mineralogicznych wybranych kamieni młyńskich z terenu Pomorza. Przyczynek do zastosowania interdyscyplinarnych metod w badaniach nad tradycyjnym młynarstwem

Results of petrographic and mineralogical research of selected millstones from Pomerania – a contribution to the use of interdisciplinary methods in research on traditional milling

Słowa kluczowe: petrografia, młyny wodne, wiatraki, kamienie młyńskie

Key words: petrography, watermills, windmills, millstones

Wstęp

Kamienie młyńskie napędzane siłą wody lub wiatru na przestrzeni wielu stuleci wykorzystywano głównie do produkcji mąki. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie znalazły również w garbarniach, przemyśle piwowarskim, do rozdrabniania kruszywa, jako gniotowniki przy produkcji oliwy, oleju, musztardy, cukru, pigmentów, a także do szlifowania, ostrzenia, kruszenia czy polerowania¹. Użytkowanie i pozyskiwanie kamieni młyńskich wymagało nieraz sporych nakładów finansowych, a także umiejętności osób odpowiedzialnych za przemiał i okresowe ostrzenie. Nadawano im także znaczenie magiczne².

W ostatnich dziesięcioleciach widoczna jest intensyfikacja interdyscyplinarnych badań zarówno nad młynarstwem, jak i kamieniami młyńskimi, czerpiących z archeologii, geologii, chemii, fizyki, paleoantropologii

Introduction

Across the centuries, millstones driven by the power of water or wind were used mainly for flour production. However, it should be remembered that they were also utilized in the brewing industry; as chipping crushers or crushers used in the production of oil, mustard and sugar. Millstones were also applied in tanneries to provide pigments. Finally, they were used for grinding, sharpening, crushing or polishing¹. The use and acquisition of millstones often required considerable financial contribution as well as the skills of those responsible for milling and seasonal sharpening. Millstones were said to have some magical powers².

In recent decades, there has been a visible intensification of interdisciplinary research on both milling and millstones themselves, including such disciplines as archaeology, geology, chemistry, physics, paleoan-

* dr, Zakład Petrologii Eksperymentalnej, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski

** dr, Wydział Sztuk Pięknych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

* *Ph.D., Department of Experimental Petrology, Institute of Geological Sciences, University of Wrocław*

** *Ph.D., Faculty of Fine Arts, Nicolaus Copernicus University in Toruń*

Cytowanie / Citation: Bartz W., Prarat M. Results of petrographic and mineralogical research of selected millstones from Pomerania – a contribution to the use of interdisciplinary methods in research on traditional milling. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2020, 61:124-144

Otrzymano / Received: 19.06.2019 • **Zaakceptowano / Accepted:** 25.01.2020

doi: 10.48234/WK61POMERANIA

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

czy molinologii³. Na szczególną uwagę zasługuje strona internetowa z bazą europejskich kamieniołomów, których kruszywo wykorzystywano w młynarstwie⁴. W opracowaniach polskojęzycznych interdyscyplinarne badania tego typu praktycznie nie były podejmowane⁵.

Celem tekstu jest prezentacja wyników badań petrograficzno-mineralogicznych oraz zabytkoznawczych wybranych kamieni młyńskich. Do głównych pytań badawczych należy określenie ich funkcji w młynie, czasu wykorzystania, właściwości fizycznych (pod względem przemiału), typu skał, z jakich powstały, a także miejsca wydobycia. Materiał został pobrany z terenu Pomorza Nadwiślańskiego (od Torunia po Gdańsk). Dokładniejsza charakterystyka kamieni, a także metoda badań próbek bardziej szczegółowo zostanie zaprezentowana w dalszej części tekstu.

Chcielibyśmy podziękować Katarzynie Pielachowskiej z Mikoszewa, Markowi Opitzowi i Łukaszowi Kępskiemu z Żuławskiego Parku Historycznego oraz Katarzynie Kulikowskiej, dyrektorze Muzeum Kaszubskiego Parku Etnograficznego, za możliwość pobrania materiału do badań. Tekst powstał dzięki stypendium Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego w dziedzinie Ochrona Dóbr Kultury za rok 2018.

Kilka słów o kamieniach młyńskich

Początków tradycyjnego młynarstwa należy upatrywać w roztarciu ziarna pomiędzy dwoma kamieniami. Najstarsze żarna typu nieckowego pojawiły się pod koniec paleolitu. W V wieku p.n.e. we wschodniej części basenu Morza Śródziemnego znane były żarna *Olynthus*: w górnym kamieniu znajdował się rowek, przez który przelatywało ziarno, na dolnym zaś dochodziło do roztarcia⁶. W tym samym czasie na terenie Hiszpanii pojawiły się pierwsze ręczne żarna obrotowe, zwane przez Rzymian *mola versatilis*. Składały się z dolnego, nieruchomego leżaka (*meta*) oraz kamienia obrotowego górnego, zwanego biegunem (*catillus*). Pomiędzy IV a III wiekiem znane były kieraty zwierzęce (*mola asinaria*)⁷. Ostatnim etapem napędu kamieni było zastosowanie koła wodnego, znanego już w III wieku p.n.e.⁸. Siłę wiatru wykorzystano w tym celu dopiero w średniowieczu⁹. Na terytorium dzisiejszej Polski rozciernianie ziaren zbóż znane jest od VI wieku p.n.e. z osady w Biskupinie¹⁰. Żarna półobrotowe, a później obrotowe były użytkowane w I wieku p.n.e.¹¹. Młyny wodne i wiatrowe pojawiły się kolejno w XII i XIII stuleciu¹².

Każde złożenie kamieni młyńskich składa się z dwóch elementów – kamienia dolnego, zwanego leżakiem, oraz górnego, zwanego biegunem. Otwór na środku nazywany jest okiem, a wewnętrzna część od oka – sercem. Podstawowy podział kamieni związany jest z ich spistością, twardością oraz strukturą porowatą¹³.

Na przestrzeni wieków najpopularniejszymi skałami do wyrobu kamieni młyńskich były piaskowce. Do ważniejszych złóż na terenie dawnej Rzeczypospolitej należały województwa bełskie i kijowskie, ziemia chełmska, Góry Świętokrzyskie i okolice Szydłowca¹⁴. Ka-

thropology and molinology³. Particularly noteworthy is the website with a database of European quarries whose deposits were used in milling⁴. In Polish-language studies, interdisciplinary research of this type has barely been undertaken⁵.

The purpose of this paper is to present the results of petrographic and mineralogical research and historical studies of selected millstones. The main research issues include: determining their function in the mill, time of use, physical properties (in terms of milling), the type of rocks from which they were made, and the place of extraction.

The samples under study were taken from the region of Vistula Pomerania (from Toruń to Gdańsk). A more detailed description of the stones and the methods of investigation of the samples themselves will be specifically presented later in the text.

In terms of acknowledgements, we would like to thank Mrs. Katarzyna Pielachowska from Mikoszewo, Mr. Marek Opitz and Łukasz Kępski from the Żuławy Historical Park and Mrs. Katarzyna Kulikowska, Director of the Kashubian Ethnographic Park Museum, for the opportunity to acquire the research material. It would not be possible for us to write this paper without the scholarship of the Minister of Culture and National Heritage in the field of Protection of Cultural Property 2018.

A few words about the millstones

The beginnings of traditional milling should be seen in grinding the grains between two stones. The oldest saddle quern appeared at the end of the Paleolithic. In the fifth century BC, the Olynthus quern was well known in the eastern Mediterranean. In the upper stone of this quern there was a groove through which the grain flew, and the whole grinding process took place in the lower one⁶.

At the same time, the first manual rotary querns appeared in Spain. The Romans called them *mola versatilis*. They consisted of a lower stone, an immovable bed stone, and a rotating upper stone, which was called *catillus*. Between the fourth and the third century there appeared treadmills, known as *asinaria piers*⁷. The last stage of applying the stones as a drive was the use of a water wheel, already known in the third century BC⁸. Wind force started to be used for this purpose in medieval times⁹.

In Poland, the grinding of cereal grains had been known since the sixth century BC, from the settlement in Biskupin¹⁰. Semi-rotating querns and then rotary ones were known in the first century BC¹¹. Watermills and windmills spread successively in the twelfth and thirteenth centuries¹².

Each millstone consists of two elements—a stationary lower stone, which is called a *bed stone*, and an upper one, which is called a *runner*. The hole in the center is called an *eye*, and the inner part from the eye is called a *waist*. The basic division of the stones is associated with their cohesion, hardness and porous structure¹³.



Ryc. 1. Kamień młyński wyprodukowany w Elblągu, obecnie wyeksponowany na terenie Muzeum Kaszubski Park Etnograficzny; fot. M. Prarat 2018.

Fig. 1. Millstone made in Elbląg, currently exhibited at the Kashubian Ethnographic Park; photo by M. Prarat 2018.

mienie importowano m.in. ze Śląska, z Saksonii (Jonsdorf, Pirna), z okolic Pragi czy Hanoweru¹⁵. Używano także trachitów i bazaltów pochodzenia wulkanicznego, sprowadzanych głównie z Niedermendig koło Andernach (tzw. kamienie reńskie)¹⁶. Największą popularność na początku XIX wieku zyskał limnokwarcyt o doskonałej zbitości i twardości z francuskich złóż *La Ferté-Sous-Jouarre*. W drugiej połowie tego stulecia surowiec z tych kamieniołomów zaczęto przywozić w mniejszych kawałkach i łączyć je w miejscowych fabrykach¹⁷. Najpierw formowano serce i wykuwano oko¹⁸. Właściwa powierzchnia mieląca (z najlepszych surowców) zaczynała się na jednej trzeciej promienia kamienia, licząc od jego brzegów¹⁹.

Przy średnicy kamienia od 141 do 220 cm grubość bieguna w oku wynosiła od 32 do 55 cm, a na obwodzie od 25 do 49 cm, natomiast grubość leżaka od 15 do 25 cm²⁰. Ważnym elementem procesu powstawania kamieni było ich nakłuwanie. Do najpopularniejszych systemów należało ustawienie bruzd w linii prostej, w kierunku krzywizny koła lub spiralnie²¹.

Kamienie na Pomorzu – prezentacja badanego zespołu

Przed omówieniem kamieni, z których zostały pobrane próby, należy wspomnieć o dotychczasowych informacjach na temat ich wykorzystania na Pomorzu. Oczywiście, rozwój młynarstwa związany był z przybyciem na te tereny zakonu krzyżackiego²². Jak podaje Rafał Kubicki, kamienie reńskie kupowano w miastach portowych, takich jak Gdańsk, Elbląg czy Królewiec, Toruń zaś był miejscem pozyskiwania kamieni ze Śląska, a być może także z Czech²³. Sporadycznie w tym celu używano też kamieni polnych²⁴. Wymieniane były również piaskowce importowane z Pirny²⁵.

W XVI wieku w źródłach wymieniane są tzw. pernery – czerwony piaskowiec śląski, wydobywany w Sudetach i na Opolszczyźnie, sprowadzany poprzez Toruń lub El-



Ryc. 2. Lapidarium Cmentarza 11 Wsi w Żelichowie-Cyganku: nagrobek z 1788, wykonany najprawdopodobniej z żarna; fot. M. Prarat 2018.

Fig. 2. Cmentarz 11 Wsi, a lapidary in Żelichowo-Cygank. Grave from 1788, most probably made from a quern-stone; photo by M. Prarat 2018.

Over the centuries, the most popular rock from which the millstones were made, was sandstone. Major sandstone deposits in the former Rzeczpospolita (Polish Republic) included the ones in Bełż, Kyiv, the Chełm lands, the Świętokrzyskie mountains and the vicinity of Szydłowiec¹⁴. It was imported from Silesia, Saxony (Jonsdorf), Pirna, the area around Prague, Hanover, etc.¹⁵. Trachites and basalt of volcanic origin imported mainly from Niedermendig near Andernach (so-called Rhine stones) were also used¹⁶.

At the beginning of the nineteenth century, limnic quartzite from the French deposits of La Ferté-Sous-Jouarr became greatly popular due to its excellent compaction and hardness. In the mid-nineteenth century, raw material from these quarries began to be imported in smaller blocks and then cemented in local factories¹⁷. First, the waist was formed and the eye was forged¹⁸. The proper milling surface (from the best raw materials) began at a third of the stone's radius from its edges¹⁹.

With a stone diameter of from 141 to 220 cm, the thickness of the runner in the eye stood at from 32 to 55 cm, and on the perimeter from 25 to 49 cm. The bed stone had a thickness ranging from about 15 to 25 cm²⁰. Making the grooves was an important element of the process of a millstone's formation. The most popular system was to set the grooves in a straight line, towards the curvature of the wheel or in a spiral manner²¹.

Millstones in Pomerania – presentation of the samples under study

Before discussing the stones from which the samples were taken, it should be mentioned how they were used in the region of Pomerania. Obviously, the pro-



Ryc. 3. Fragment kamienia młyńskiego z piaskowca kwarcowego przy wiatraku z Drewnicy z wyrytym krzyżem; fot. M. Prarat 2018.

Fig. 3. Fragment of a millstone made of quartz sandstone at the windmill in Drewnica with a graved cross; photo by M. Prarat 2018.

bląg²⁶. Od drugiej ćwierci XVIII stulecia korzystano też z kamieni przywożonych z Czech²⁷. W dalszym ciągu kupowano także kamienie reńskie oraz pozyskiwano polne²⁸.

W XIX wieku bardzo popularne stały się kamienie francuskie. Wiadomo np., że do wiatraka w Bierzgowie (pow. toruński) obydwie złożenia pochodziły z fabryki w Gorzowie Wielkopolskim (niem. Landsberg)²⁹, a kamień z młyna wodnego z okolic Gdańska wyprodukowany został w Elblągu (ryc. 1)³⁰. Nadal można było nabyć kamienie reńskie i śląskie oraz angielskie do krup i prosa, o czym informowały reklamy w ówczesnych gazetach³¹.

Są to oczywiście pojedyncze, wybrane informacje na temat pozyskiwania kamieni w interesującym nas czasie. Niestety, brak bardziej szczegółowych informacji w XIX-wiecznych źródłach pisanych. Najwięcej danych dotyczy uzyskania pozwoleń na budowę młyna. W dokumentach tych mowa głównie o liczbie złożań kamieni, np. w roku 1846 niejaki Krieger złożył podanie o budowę młyna o 4 gankach z kołem podsiębiernym w miejscowości Niskiebrodno w miejscu zniszczonego młyna o 3 gankach³², a w roku 1850 Johann Liedke prosił o pozwolenie na budowę koźlaka we wsi Papowo Toruńskie z jednym złożeniem na przemiał i jednym żubrownikiem³³. W parze z niewielką liczbą źródeł idzie brak podstawowej inwentaryzacji kamieni w terenie.

W związku z tym dla odnalezionnej i skatalogowanej grupy zabytków z 10 miejsc na Pomorzu pobrano 17 prób i podjęto decyzję o dokładniejszej ich analizie (tab. 1). Do badań petrograficznych wytypowano 15 prób³⁴: 9 pochodziło z wiatraków (średnica kamienia 130–140, średnica oka 24–45 cm, głębokość 18–20 cm dla leżaka i 27–40 cm dla bieguna)³⁵, trzy z żaren/śrutowników (średnica kamienia ok. 60 cm, średnica oka 18–20 cm, grubość 16–36 cm³⁶), jedna z koła wodnego (średnica koła 125 cm, średnica oka 25 cm, grubość 20 cm)³⁷, jedna z nieokreślonego koła³⁸. Jeden z kamieni odbiega nieco od badanej grupy: jest to nagrobek z roku 1788, choć jego forma wskazuje, że pierwotnie mógł pełnić funkcję żarna (ryc. 2)³⁹. Na jednym kamieniu odnaleziono wyryty znak krzyża (ryc. 3)⁴⁰.

cess of milling should be associated with the arrival of the Teutonic Order in these areas²². According to R. Kubicki, Rhenish stones were bought in several port cities such as Gdańsk, Elbląg and Królewiec. Toruń was the place where stones from Silesia and perhaps also from Bohemia were purchased²³. Occasionally, field stones were also applied for this purpose²⁴. Sandstone imported from Pirna is also mentioned as the one that was exchanged²⁵.

Sixteenth-century sources mention the so-called perner – red Silesian sandstone mined in the Sudetes and Opole region. It was merchandized in Toruń and Elbląg²⁶. From the early eighteenth century, stones from the Bohemia were also used²⁷. Still, the Rhine stones were bought and so were field stones²⁸.

In the nineteenth century, French stones became very popular. For instance, it is known that in a windmill in Bierzgow (Toruń powiat) both elements of the millstone came from a factory in Gorzów Wielkopolski (German: Landsberg²⁹), whereas a stone from a watermill from the vicinity of Gdańsk was made in Elbląg (fig. 1³⁰). It was still possible to purchase Rhenish and Silesian stones and English stones for grits and millet, as advertized in the newspapers of that time³¹. Of course, these are quite individual and selected pieces of information on how the stones were obtained in the time under study. Unfortunately, there is no more detailed information on the stone trade in written sources from the nineteenth century. The greatest number of documents concern mill building permits. These letters mainly refer to the number of stone pairs. For example, in 1846 a man called Krieger applied for the construction of a mill with four pairs of stones and an undershot water wheel on the site of a destroyed mill with three pairs of stones in the town of Niskiebrodno³²; and in 1850, Johann Liedke applied for the construction of a post mill in the village of Papowo Toruńskie with one pair of stones for milling and one pair of ending-stones³³. Apart from the scarcity of the sources, there is also no basic inventory of the stones in the field.

Therefore, seventeen samples were taken from a group of monuments found and catalogued in ten places in Pomerania, and a decision was made to analyze them more closely (tab. 1). Fifteen samples were selected for petrographic analysis³⁴. Nine samples were taken from windmills (stone diameter 130–140, eye diameter 24–45 cm, and depth 18–20 cm for the bed stone and 27–40 cm for the runner³⁵), three from querns / grinders (stone diameter about 60 cm, eye diameter 18–20 cm, 16–36 cm thick³⁶), one from a water wheel (wheel diameter 125 cm, eye diameter 25 cm, thickness 20 cm³⁷), and one from an unspecified wheel³⁸. One of the stones was slightly different from the rest as it is a gravestone from the year 1788. Yet, its form indicates that it could have originally served as a quern-stone (fig. 2³⁹). A carved cross mark was found on one stone (fig. 3⁴⁰).

Numer próbki	Miejscowość, datowanie	Uwagi	Wymiary (średnica kamienia/średnica oka/grubość w cm)	Badania				Wyniki	
				PLM	SEM-EDS	XRD	DSC-TG	rodzaj skały	miejsce pochodzenia
1	Mikoszewo, XIX w.	kamień z wiatraka/leżak (?)	140/27/23	+	+	+	+	sztuczny kamień	-
2	Mikoszewo, XIX w.	kamień z wiatraka/leżak (?), półkolista linia ostrzenia	133/30/23	+	+			piaskowiec kwarcowy	Jonsdorf (łomy Teufelsmühe oraz Katzenkerbe), Niemcy
3	Mikoszewo, XIX w.	kamień z wiatraka/leżak, półkolista linia ostrzenia	57 ¹ /7/7	+	+			piaskowiec kwarcowy	Jonsdorf (łomy Teufelsmühe oraz Katzenkerbe), Niemcy
4	Drewnica, do lat 90. XX w.	kamień z wiatraka/biegun	141/35/40	+	+			piaskowiec kwarcowy	?
5	Drewnica, do lat 90. XX w.	kamień z wiatraka/leżak	55 ¹ /24/18	+	+			piaskowiec kwarcowy	?
6	Cyganek, ?	fragment kamienia wykorzystany jako bruk, półkolista linia ostrzenia	?/?/?	+				granit/granitoid	pochodzenie miejscowe (?)
7	Cyganek, ?	żarna (?) wykorzystane jako kamień nagrobny z datą 1788	55 ¹ /??/?	+				anortozyt kwarcowy	pochodzenie miejscowe (?)
8	Cyganek, ?	kamień żarna, półkolista linia ostrzenia	60/18/16	+	+			piaskowiec kwarcowy	?
9	Cyganek, ?	kamień żarna	21 ² /13/?	+	+	+	+	sztuczny kamień	-
10	Cyganek, 1911	kamień żarna, półkolista linia ostrzenia	60/20/36	+	+			piaskowiec kwarcowy	?
11	Kurkocin, przełom XIX i XX w.	kamień z wiatraka, tzw. francuz, strona wewnętrzna, tzw. serce/biegun (?)	130/30/25	+	+			piaskowiec kwarcowy	Jonsdorf, Niemcy; tzw. piaskowce Macquenoise lub piaskowce krzemionkowe z okolic Blanzy, Francja
12	Kurkocin, przełom XIX i XX w.	kamień z wiatraka, tzw. francuz, strona zewnętrzna/biegun (?)	130/30/25	+				skała osadowa krzemionkowa/chalcedonit-czert/	okolice Corfélix, Francja
13	Kurkocin, przełom XIX i XX w.	kamień z wiatraka w łubiu, tzw. francuz, strona zewnętrzna/biegun	?/?/?	+				sztuczny kamień	-
15	okolice Gdańska, XIX w.	kamień z młyna wodnego, tzw. francuz/leżak (?)	125/25/20	+				skała osadowa krzemionkowa/chalcedonit-czert/	okolice Corfélix, Francja
17	Brusy-Wdzydze, 2 połowa XIX w.	kamień z wiatraka, tzw. francuz, strona wewnętrzna, tzw. serce/biegun, prosta linia ostrzenia	133/30/27	+				piaskowiec kwarcowy	Jonsdorf, Niemcy; tzw. piaskowce Macquenoise lub piaskowce krzemionkowe z okolic Blanzy, Francja

¹ Wymiar od oka do krawędzi zewnętrznej.

² Wymiar od oka do krawędzi zewnętrznej.

Tabela 1. Opis próbek wraz z określeniem metod i wyników badań; oprac. W. Bartz, M. Prarat.

Sample number	place/ date	comments	size (stone diameter/eye diameter/ thickness in centimeters)	research conducted				research results	
				PLM	SEM-EDS	XRD	DSC-TG	type of rock	place of origin
1	Mikoszewo/ 19th century	windmill stone/bed-stone?	140/27/23	+	+	+	+	artificial stone	-
2	Mikoszewo/ 19th century	windmill stone/ bedstone? semicircular sharpening line	133/30/23	+	+			quartz sand-stone	Jonsdorf (Teufelsmühle and Katzenkerbe quarries), Germany
3	Mikoszewo/ 19th century	windmill stone/ bedstone semicircular sharpening line	57/?/7	+	+			quartz sand-stone	Jonsdorf (Teufelsmühle and Katzenkerbe quarries), Germany
4	Drewnica/ up till 1990s	windmill / runner	141/35/40	+	+			quartz sand-stone	?
5	Drewnica/ up till 1990s	windmill stone/ bedstone	55 ¹ /24/18	+	+			quartz sand-stone	?
6	Cyganek/?	fragment of a stone used as paving (cobblestone), semicircular sharpening line	?/?/?	+				granite/granitoid	local origin?
7	Cyganek/?	quern-stone (?) used as a gravestone with the date 1788	55/?/?	+				quartz anorthosite	local origin?
8	Cyganek/?	quern-stone, semicircular sharpening line	60/18/16	+	+			quartz sand-stone	?
9	Cyganek/?	quern-stone	21 ² /13/?	+	+	+	+	artificial stone	-
10	Cyganek/1911	quern-stone, semicircular sharpening line	60/20/36	+	+			quartz sand-stone	?
11	Kurkocin/ turn of the 20th century	windmill stone, so called French millstone, inner side, so called waist/ runner?	130/30/25	+	+			quartz sand-stone	Jonsdorf, Germany/so called Macquenoise sandstone or silica sandstone from near Blanzly, France
12	Kurkocin/ turn of the 20th century	windmill stone, so called French millstone, outer side / runner?	130/30/25	+				silica sedimentary rock /chalcedony-chert/	near Corfélix, France
13	Kurkocin/ turn of the 20th century	windmill stone in a wooden case (i.e. vat), so called French millstone, outer side / runner	?/?/?	+				artificial stone	-
15	around Gdańsk/19th century	watermill stone, so called French millstone/bedstone?	125/25/20	+				silica sedimentary rock /chalcedony-chert/	near Corfélix, France
17	Brusy-Wdzydze/2nd half of the 19th century	watermill stone, so called French millstone, inner side, so called waist/ runner, straight sharpening line	133/30/27	+				quartz sand-stone	Jonsdorf, Germany/so called Macquenoise sandstone or silica sandstone from near Blanzly, France

¹ Dimension from the eye to the outer edge.

² Dimension from the eye to the outer edge.

Table 1. Characterization of the samples, methods and research results; by W. Bartz, M. Prarat.

Metoda badań petrograficznych

Badania mikroskopowe w świetle spolaryzowanym, przechodzącym (PLM) wykonano dla wszystkich próbek (tab. 1) w pracowni Zakładu Petrologii Eksperymentalnej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego. Z przekazanych do badań próbek w szlifierni Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego przygotowano płytki cienkie (preparaty mikroskopowe do badań w świetle spolaryzowanym, przechodzącym) zgodnie z zaleceniami zawartymi w polskiej normie⁴¹. Preparaty przygotowano, szlifując za pomocą proszków polerskich przymocowane żywicą epoksydową do szkiełka podstawowego fragmenty próbek celem osiągnięcia grubości materiału około 30–35 μm . Po zeszlifowaniu płytki cienkie zostały przykryte szkiełkiem nakrywkowym, klejonym za pomocą balsamu kanadyjskiego. Badania płytek cienkich przeprowadzono za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego Zeiss Axiolab z zamontowanym cyfrowym aparatem fotograficznym Canon G2, którym wykonano dokumentację fotograficzną. Objętość składników wchodzących w skład badanych próbek określono na podstawie komputerowej analizy obrazu mikrofotografii preparatów mikroskopowych za pomocą programu JMicroVision, przy zastosowaniu metody punktowej (tzw. *point-counting*)⁴².

Uziarnienie szkieletu ziarnowego próbek skał okruczowych określono za pomocą komputerowej analizy obrazu przy użyciu programu JMicroVision v1.2.7⁴³. Dla każdej z próbek przygotowano wysokiej rozdzielczości zdjęcia mikroskopowe, obejmujące powierzchnię preparatu mikroskopowego równą około 2,0 cm^2 , na które naniesiono raster równoległych linii w odstępie co 2,0 mm. Następnie zliczono średnice zastępcze każdego z ziaren przecinanych przez linie rastra. Na podstawie uzyskanych danych przygotowano histogramy uziarnienia skał okruczowych oraz obliczono podstawowe parametry sedimentologiczne.

Dodatkowe, wyszczególnione w tabeli 1. badania instrumentalne wykonano celem pełniejszego scharakteryzowania badanego materiału dla wybranych na podstawie badań mikroskopowych (PLM) próbek, gdy po użyciu z nich preparatów mikroskopowych pozostała wystarczająca ilość materiału. Badania za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) sporządzono dla próbek skał okruczowych i sztucznego kamienia (tab. 1). Świeże przełamy napyłono próżniowo węglem do grubości powłoki przewodzącej około 30 nm. Obserwacji dokonano przy użyciu mikroskopu skaningowego JEOL JSM IT100 z przystawką do mikroanalizy rentgenowskiej Oxford X-Act (EDS), przy napięciu przyspieszającym 14 kV.

Badania metodą termiczną (DSC-TG) wykonano dla wybranych próbek sztucznego kamienia (tab. 1) za pomocą kolorymetru (analyzera termicznego) PerkinElmer STA6000. Warunki pomiarów: 1) stosowano tygiel Al_2O_3 , otwarty, 2) pomiaru dokonano w zakresie temperaturowym od 40° C do 995° C, 3) szybkość grzania 20° C/min, 4) atmosfera N_2 , przepływ gazu

Method of petrographic research

Microscopic investigation under polarized transmitted light (PLM) was performed for all the samples (tab. 1) in the laboratory of the Department of Experimental Petrology, Institute of Geological Sciences, University of Wrocław. Thin sections were made in the Grindery of the Institute of Geological Sciences of the University of Wrocław in accordance with the recommendations of the Polish Standard to investigate the samples (microscope specimens to investigate under polarized transmitted light)⁴¹. The specimens were prepared via attaching fragment samples with epoxy resin to a basic slide and grinding them using polishing powders until a sample thickness of about 30–35 μm was achieved. Subsequently, thin sections were covered with a microscope slide and glued with Canada turpentine. The study of thin sections was carried out using a Zeiss Axiolab polarizing microscope coupled with a Canon G2 digital camera, which was used to prepare photographic documentation. The modal composition of the samples was determined via a computer analysis of the microphotographs of the microscopic thin sections using the point-counting method, with the help of JMicroVision software⁴².

The grain-size distribution of the clastic rock samples was estimated using computer image analysis using JMicroVision v1.2.7 software⁴³. High-resolution microscopic images were prepared for each sample, covering a microscope specimen surface of approximately 2.0 cm^2 , on which a raster of parallel lines spaced 2 mm apart was applied. Subsequently, feret diameters of each grain cut off by the lines of the abovementioned raster were counted. Based on the obtained data, grain-size distribution histograms of the clastic rocks were plotted, and basic sedimentological parameters were calculated.

Additional instrumental analysis (tab.1) was performed to characterize the material under study in a more complete way. Selected samples were chosen on the basis of microscopic analysis (PLM) for this investigation, provided that a sufficient amount of material remained after the preparation of microscopic specimens.

An analysis using scanning electron microscopy (SEM) was performed for the samples of the clastic rocks and artificial stone (tab. 1). Freshly broken samples were carbon-coated (with a layer about 30 nm thick). Observations were made using a JEOL JSM IT100 scanning microscope with an Oxford X-Act (EDS) x-ray microanalysis adapter. Observations were made at an accelerating voltage of 14 kV.

Thermal analyses (DSC-TG) were performed for selected artificial stone samples (tab. 1) using a PerkinElmer STA6000 calorimeter (thermal analyzer). Measurement conditions were as follows: (1) corundum crucible Al_2O_3 , open, (2) measurement was taken in a temperature range from 40° C to 995° C, (3) heating rate 20° C / min, (4) N_2 atmosphere, inert gas flow

inertnego 15 ml/min. Dla tych samych próbek (tab. 1), wybranych na podstawie badań mikroskopowych i termicznych, sporządzono dodatkowo badania metodą dyfrakcji rentgenowskiej, metodą proszkową (XRD). Pomiary wykonano za pomocą dyfraktometru Siemens D 5005, wyposażonego w lampę rentgenowską z antykatomą kobaltową; lampa pracowała pod napięciem 30 kV i prądem o natężeniu 25 mA. Pomiarów dokonano w zakresie kąta 2° od 4° do 75° , z pomiarem 1 sek. na $0,02^\circ$, a identyfikacji jakościowej składu fazowego próbek za pomocą oprogramowania Diffract-EVA.

Wyniki badań petrograficznych

Badane próbki kamieni młyńskich charakteryzowały się bardzo dużą zmiennością litologiczną (ryc. 4, 5, 6, 7). W całej grupie dominowały wprawdzie kamienie naturalne, ale podrzędna część próbek reprezentowała sztuczny kamień (tab. 1). Wśród próbek skał najliczniej występowały piaskowce kwarcowe lub subarkozowe (ryc. 4), składające się odpowiednio z kwarcu lub kwarcu i podrzędnych skaleni (tab. 2). Tę odmianę litologiczną zidentyfikowano w próbkach 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 17. Rzadziej występowały skały osadowe krzemionkowe (ryc. 5), mające charakter chalcedonitów czy czertów (tab. 3), reprezentowane przez próbki 12 i 15. Jedynie dwie próbki to skały krystaliczne (magnowe; ryc. 3), z których kamień nr 6 to skała o składzie z pogranicza granitu/granitoidu, a kamień 7 to anortozyt kwarcowy (tab. 4).

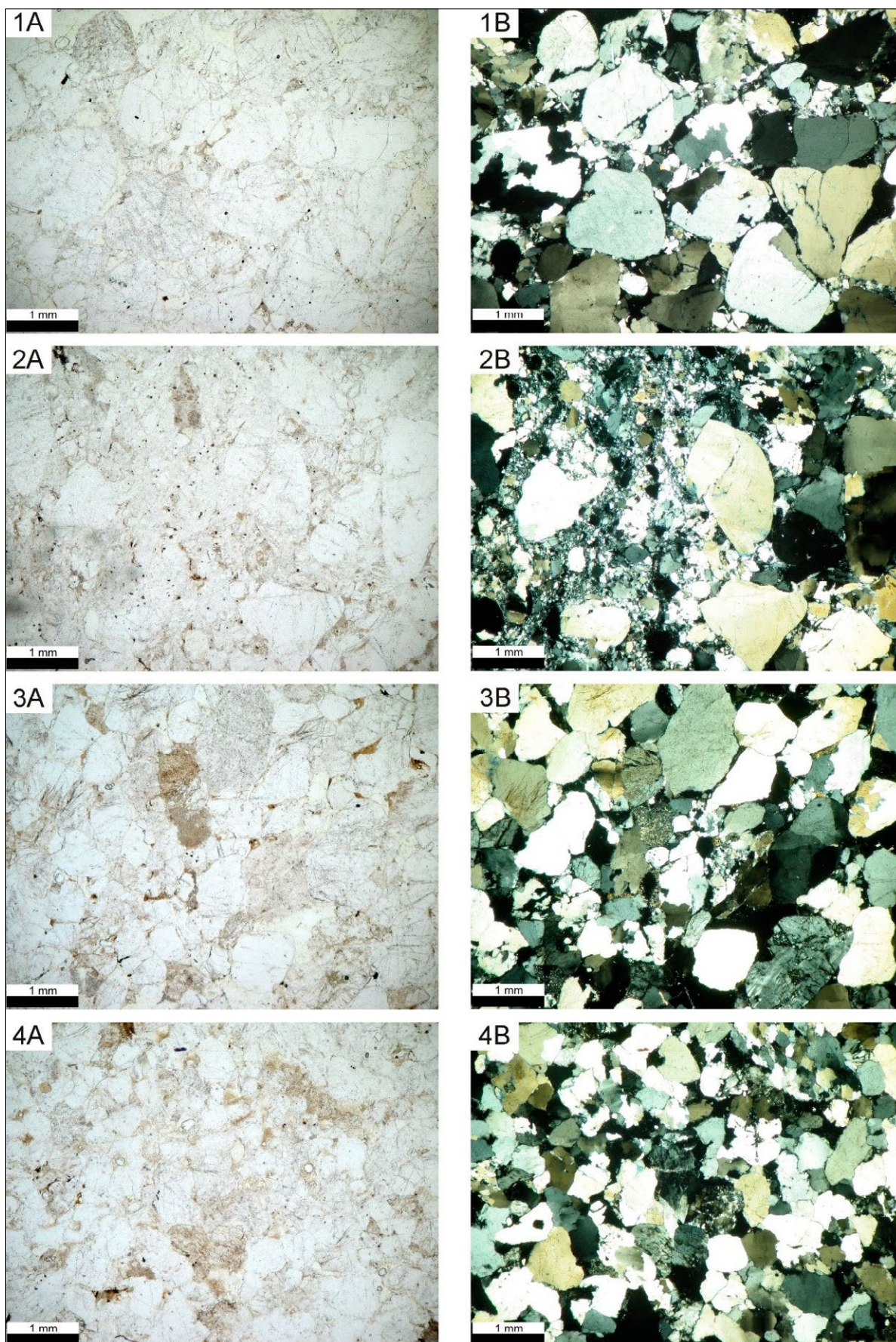
Sztuczny kamień reprezentowały próbki 1, 9, 13 (ryc. 7, 8). Różniły się między sobą spoiwem, a także składem i morfologią ziaren wypełniacza (tab. 5). Próbka 1 posiadała mikrokryształiczne i hydrauliczne spoiwo, w którego składzie obecne były węglany, uwodnione krzemiany oraz liczne relikty faz spoiw hydraulicznych (cementowych). Jako spoiwo w próbce tej zastosowano mieszaninę wapna i cementu lub, co wydaje się mniej prawdopodobne, spoiwo miało charakter cementu naturalnego. W składzie szkieletu ziarnowego dominował kwarc, z podrzędnym udziałem skaleni, ziaren litycznych oraz składników akcesorycznych. Szkielet miał charakter relatywnie drobnookruchowy, ziarna nie przekraczały około 0,5 mm. Jako wypełniacz w próbce 1 zastosowano drobnoziarnisty piasek kwarcowy. Podobny charakter wypełniacza obserwowano w próbce 13, tu jednak wypełniacz zbudowany był ze znacznie większych ziaren, około 1,0 mm. Skrytokryształiczne spoiwo próbki tej próbki miało zupełnie inny charakter niż spoiwo próbki 1; składało się z masy, w której istotną rolę odgrywał magnez, krzem, glin i chlor, miało charakter magnezjowy (cement Sorela⁴⁴). Bardzo podobny mikroskopowo charakter spoiwa obserwowano w ostatnim ze sztucznych kamieni, reprezentowanym przez próbkę 9. Tu masa spajająca również ma charakter cementu Sorela, jednak w odróżnieniu od próbki 13 ziarna wypełniacza są duże i osiągają do kilku milimetrów średnicy. Różnią się petrograficznie, składają się wyłącznie z skał krzemionkowych o charakterze zbliżonym do próbek skał naturalnych 12 i 15.

15 ml / min. For the same samples (tab. 1), selected on the basis of the microscopic and thermal analyses, additional X-ray powder diffraction (XRD) analyses were performed. Measurements were made using a Siemens D 5005 diffractometer, equipped with an X-ray tube with a cobalt anti-cathode. The lamp worked under a voltage of 30 kV and a current of 25 mA. The measurements were made at a 2° angle range from 4° to 75° , with a scan step time of 1 sec. and a step size of 0.02° . Qualitative identification of the phase composition of the samples was made using Diffract-EVA software.

Petrographic research results

The studied millstone samples were characterized by a very high lithological variability (fig. 4, 5, 6, 7). Natural stones predominated in the entire group; however, a minor group of the samples was observed to be of artificial stone (tab. 1). Among the rock samples, the most abundant were quartz or subarkose sandstones (fig. 4), consisting of quartz or quartz and rare feldspars, respectively (tab. 2). Such lithological varieties were identified in the case of samples 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 17. Siliceous sedimentary rocks (fig. 5), which were chalcedonites or cherts in nature (tab. 3), represented by samples 12 and 15, turned out to appear less frequently. Only 2 samples were crystalline rocks (igneous rocks; fig. 3), of which stone 6 is an example of granite / granitoid, and stone 7 is quartz anortosite (tab. 4).

Artificial stone was represented by samples 1, 9, 13 (fig. 7, 8), which differed in terms of the cement composition and morphology of the filler grains (tab. 5). Sample 1 contained a microcrystalline and hydraulic binder, in the composition of which carbonates, hydrated silicates and numerous relics of hydraulic (cement clinker) binders were present. A mixture of lime and cement was used as a binder in sample 1 or, which is less probable, natural cement was the binder in this case. The composition of the filler here was dominated by quartz, with minor feldspars, lithic grains, and accessory components. The filler was relatively fine-grained, and the grains did not exceed about 0.5 mm in size. Fine-grained quartz sand was used as filler in sample 1. A similar nature of the filler was observed in the case of sample 13. In this case, however, the filler was made of much larger grains, reaching sizes up to about 1.0 mm. The crystalline binder of this sample had a completely different character compared to the one in sample 1. It consisted of a mass in which magnesium, silicon, aluminum and chlorine played a significant role, and can be characterized as a magnesium oxychloride binder (so-called Sorel cement⁴⁴). A binder of a very similar microscopic character was observed in the last of the artificial stones, represented by sample 9. Here, the binding mass was also Sorel cement; yet, unlike in sample 13, the filler grains were large and reached up to several millimeters in diameter. They differed in a petrographic sense, as they consisted



Ryc. 4. Mikrofotografie próbek skał okruchowych: 1 – próbka 2, 2 – próbka 3, 3 – próbka 4, 4 – próbka 5 (A – światło spolaryzowane, jeden polaryzator; B – światło spolaryzowane, dwa skrzyżowane polaryzatory); 5 – próbka 8, 6 – próbka 10, 7 – próbka 11, 8 – próbka 17; oprac. W. Bartz.

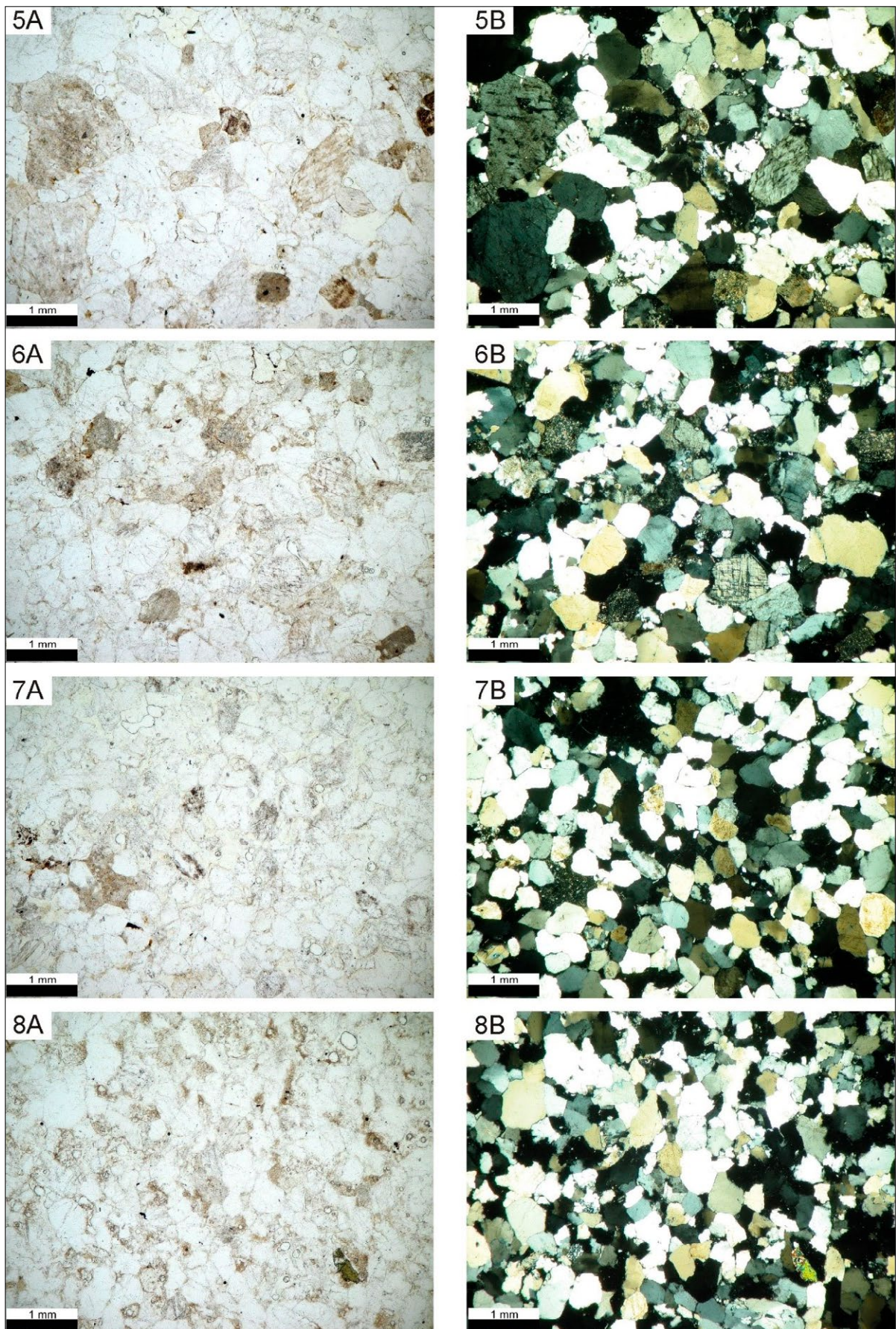


Fig. 4. Microphotographs of clastic rocks samples: 1 – sample 2, 2 – sample 3, 3 – sample 4, 4 – sample 5 (A – plane polarized light; B – cross-polarized light), 5 – sample 8, 6 – sample 10, 7 – sample 11, 8 – sample 17; by W. Bartz.

Numer próbki	Kwarc i kwarc polikrystaliczny	Skalenie	Fragmenty skał	Składniki akcesoryczne	Spoivo	Pory
2	78,4	1,4	0,0	0,2	3,6	16,4
3	92,2	0,0	0,0	0,2	2,9	4,7
4	77,0	7,7	4,3	0,3	4,8	5,9
5	69,1	11,2	3,4	0,2	12,2	3,9
8	62,7	16,3	7,1	0,3	3,9	9,7
10	62,5	11,7	6,6	0,2	4,7	14,3
11	80,6	0,0	0,6	0,2	6,5	12,1
17	87,5	4,4	1,2	0,4	11,1	3,4

Tabela 2. Zestawienie składu modalnego (% obj.) próbek skał okruchowych (piaskowców); oprac. W. Bartz.

Numer próbki	Chalcedon + kwarc	Składniki nieprzezroczyste	Pory	Numer próbki	Kwarc	Skalenie alkaliczne	Skalenie Ca-Na	Biotyt	Hornblenda	Inne
12	96,0	0,3	3,7	6	32,4	17,6	22,5	15,8	10,4	1,3
15	90,7	1,1	8,2	7	18,3	8,6	68,7	4,2	0,0	0,2

Tabela 3. Zestawienie składu modalnego (% obj.) próbek skał krzemionkowych; oprac. W. Bartz.

Tabela 4. Zestawienie składu modalnego (% obj.) próbek skał magmowych; oprac. W. Bartz.

Numer próbki	Kwarc i kwarc polikrystaliczny	Skalenie	Fragmenty skał	Składniki akcesoryczne	Spoivo
1	38,4	3,8	5,2	0,7	51,9
9	0,0	0,0	73,2	0,0	26,8
13	30,7	2,7	36,7	0,0	29,9

Tabela 5. Zestawienie składu modalnego (% obj.) próbek sztucznego kamienia; oprac. W. Bartz.

Sample number	Quartz and polycrystalline quartz	Feldspars	Rock fragments	Accessory components	Binder	Pores
2	78,4	1,4	0,0	0,2	3,6	16,4
3	92,2	0,0	0,0	0,2	2,9	4,7
4	77,0	7,7	4,3	0,3	4,8	5,9
5	69,1	11,2	3,4	0,2	12,2	3,9
8	62,7	16,3	7,1	0,3	3,9	9,7
10	62,5	11,7	6,6	0,2	4,7	14,3
11	80,6	0,0	0,6	0,2	6,5	12,1
17	87,5	4,4	1,2	0,4	11,1	3,4

Table 2. Modal composition (percentage by volume) of clastic rock samples (sandstone), by W. Bartz.

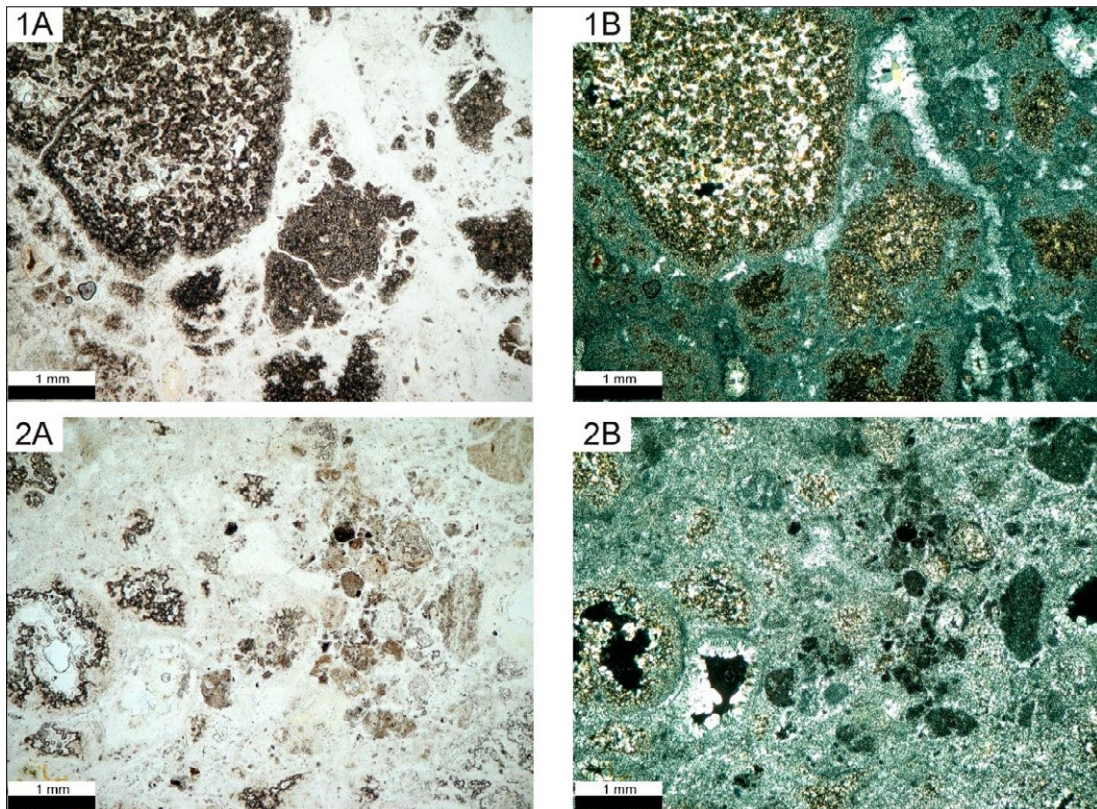
Sample number	Chalcedony + quartz	Opaque components	Pores	Sample number	Quartz	Alkali feldspars	Ca-Na feldspars	Biotite	Hornblende	Other
12	96,0	0,3	3,7	6	32,4	17,6	22,5	15,8	10,4	1,3
15	90,7	1,1	8,2	7	18,3	8,6	68,7	4,2	0,0	0,2

Table 3. Modal composition (percentage by volume) of siliceous rock samples; by W. Bartz.

Table 4. Modal composition (percentage by volume) of magma rock samples; by W. Bartz.

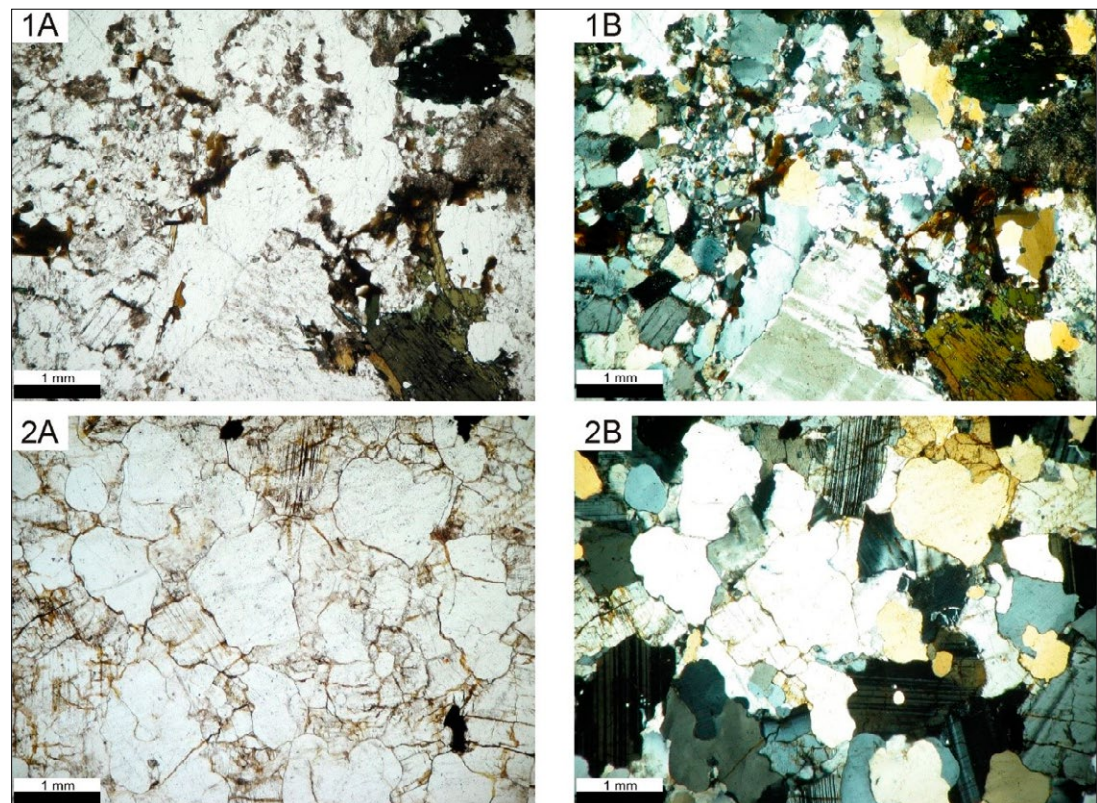
Sample number	Quartz and polycrystalline quartz	Feldspars	Rock fragments	Accessory components	Binder
1	38,4	3,8	5,2	0,7	51,9
9	0,0	0,0	73,2	0,0	26,8
13	30,7	2,7	36,7	0,0	29,9

Table 5. Modal composition (percentage by volume) of artificial stone samples; by W. Bartz.



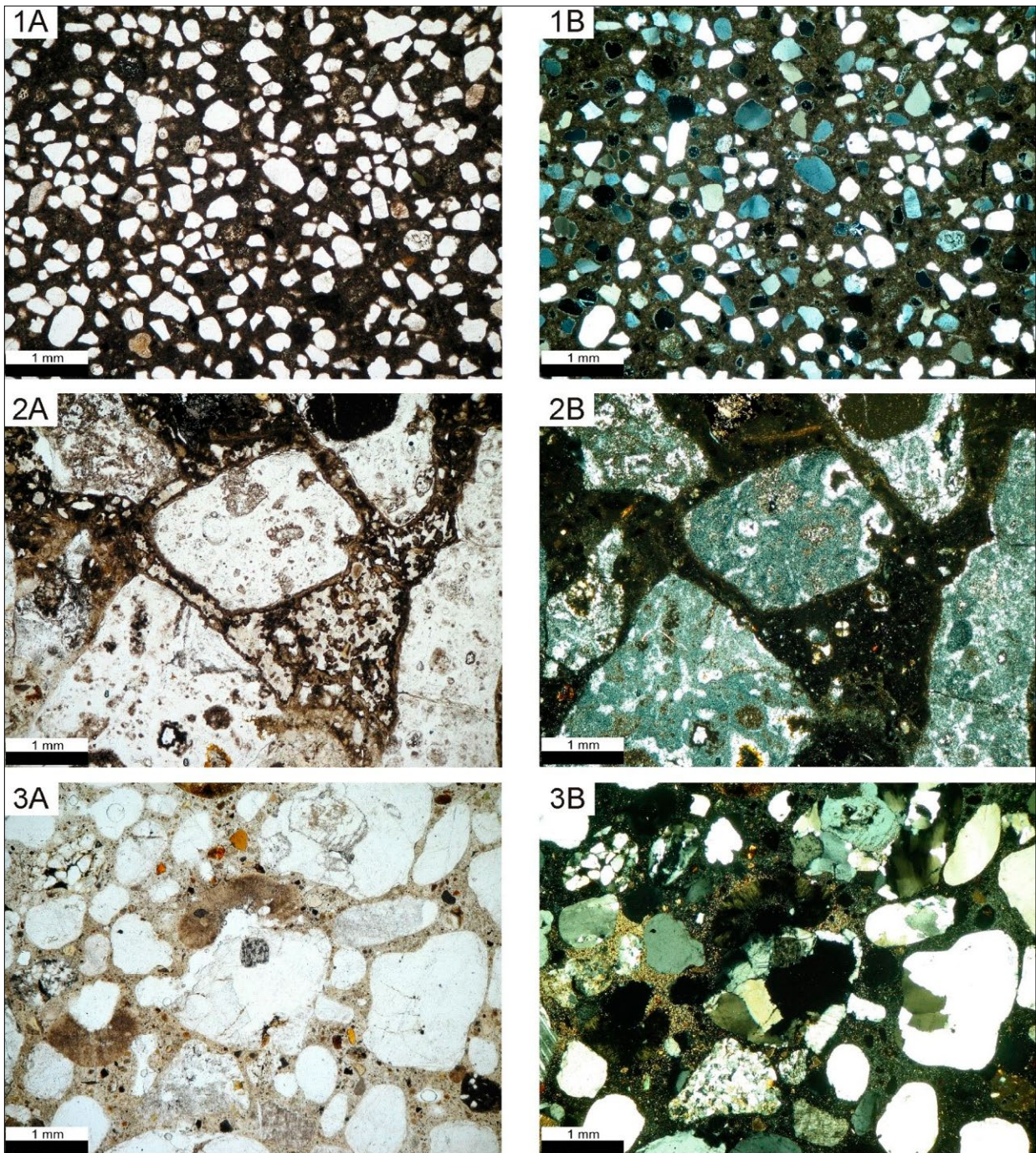
Ryc. 5. Mikrofotografie próbek skał krzemionkowych: 1 – próbka 12, 2 – próbka 15 (A – światło spolaryzowane, jeden polaryzator; B – światło spolaryzowane, dwa skrzyżowane polaryzatory); oprac. W. Bartz.

Fig. 5. Microphotographs of siliceous rocks samples: 1 – sample 12, 2 – sample 15 (A – plane polarized light; B – cross-polarized light); by W. Bartz.



Ryc. 6. Mikrofotografie próbek skał magmowych gębinowych: 1 – próbka 6, 2 – próbka 7 (A – światło spolaryzowane, jeden polaryzator; B – światło spolaryzowane, dwa skrzyżowane polaryzatory); oprac. W. Bartz.

Fig. 6. Microphotographs of intrusive igneous rocks samples: 1 – sample 6, 2 – sample 7 (A – plane polarized light; B – cross-polarized light); by W. Bartz.



Ryc. 7. Mikrofotografie próbek sztucznego kamienia: 1 – próbka 1, 2 – próbka 9, 3 – próbka 13 (A – światło spolaryzowane, jeden polaryzator; B – światło spolaryzowane, dwa skrzyżowane polaryzatory); oprac. W. Bartz.

Fig. 7. Microphotographs of artificial stone samples: 1 – sample 1, 2 – sample 9, 3 – sample 13 (A – plane polarized light; B – cross-polarized light); by W. Bartz.

Aby przybliżyć proveniencję skał naturalnych, wstępnie przyrównano charakter petrograficzny badanych skał do bazy danych zgromadzonej w European millstone quarries: a database⁴⁵. Skały krzemionkowe, reprezentowane przez próbki 12 (ryc. 9) i 15, mają charakter zbliżony do skał krzemionkowych używanych do produkcji kamieni młyńskich występujących we francuskiej Burgundii. Wystąpienie takich skał odnotowywane jest w okolicach Imphy, La Fermeté czy Blanzuy⁴⁶. Skały krzemionkowe wykorzystywane na kamienie młyńskie na terenie Francji opisuje również Owen Ward⁴⁷ (złóża w okolicach

only of siliceous rocks, similar to the ones that were present in natural rock samples 12 and 15.

To narrow down the provenance of the natural rocks, they were preliminary compared in terms of their petrographic features with the rock samples stored in „European millstone quarries: a database”⁴⁵. Siliceous rocks, represented by samples 12 and 15 (fig. 9), are similar in nature to the siliceous rocks used in the production of millstones in France (Burgundy). Such rocks occur in the area of Imphy, La Fermeté or Blanzuy⁴⁶. Siliceous rocks, which were used to produce



Ryc. 8. Mikoszewo, fragment kamienia młyńskiego ze sztucznego kamienia w miejscu, gdzie stał wiatrak; fot. M. Prarat 2018.

Fig. 8. Mikoszewo, fragment of a millstone made of artificial stone in a place where a windmill used to be located; photo by M. Prarat 2018.

miejsowości La Ferte-sous-Jouarre). Istotne wydaje się, że podana przez Warda oraz Charles'a Hockensmitha charakterystyka tamtejszej skały jest zbieżna z obrazem badanych próbek⁴⁸. Hockensmith omawia skałę jako odwapnioną skałę wapienno-krzemionkową, która wskutek usunięcia składników węglanowych charakteryzuje się obecnością różnej wielkości i często połączonych z sobą pustek. Podobny charakter mają próbki 12 i 15, w których także zaobserwowano mikroskopowo mniej lub bardziej liczne pory. Skały krzemionkowe o zbliżonym charakterze, występujące w okolicach Corfélix, znajdziemy też w bazie danych Alaina Belmonta i Fritza Mangartza⁴⁹. Na podstawie zdjęć makro- i mikroskopowych można stwierdzić dużą zgodność z obrazem skał 12 i 15. Po bezpośrednim porównaniu obrazu mikroskopowego próbek 12 i 15 oraz mikrofotografii z bazy danych Belmonta i Mangartza można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że próbki te pochodzą z okolic Corfélix we Francji.

Na tle próbek sztucznego kamienia i skał krzemionkowych najliczniej reprezentowane były skały okrucowe – piaskowce. Wykazywały one pewne zróżnicowanie w zawartości matriksa, proporcji podstawowego składnika do ilości skaleni czy charakteru spoiwa. Na podsta-



Ryc. 10. Mikoszewo, fragment kamienia młyńskiego z piaskowca kwarcowego w miejscu, gdzie stał wiatrak; fot. M. Prarat 2018.

Fig. 10. Mikoszewo, fragment of a millstone made of quartz sandstone in a place where a windmill used to be located; photo by M. Prarat 2018.



Ryc. 9. Kurkocin, kamień młyński (część wewnętrzną z piaskowca kwarcowego, część zewnętrzną ze skał osadowych krzemionkowych) przy wiatraku z końca XIX w.; fot. M. Prarat 2018.

Fig. 9. Kurkocin, millstone (inner part made of quartz sandstone, outer part made of siliceous sedimentary rocks) at a windmill from the late nineteenth century; photo by M. Prarat 2018.

millstones in France, and which were also described by Ward⁴⁷ were procured from deposits located in the vicinity of La Ferte-sous-Jouarre. It is notable that the description of the rock given by Ward and Hockensmith coincides with the characteristics of the samples under study⁴⁸. The author described it as a decalcified calcareous-siliceous rock. Due to the removal of carbonate components, it is characterized by the presence of pores of different sizes, which are often connected with one another. Samples 12 and 15 were quite similar and contained a bigger or smaller number of pores, which were also microscopically observed. Comparable siliceous rocks can also be found near Corfélix⁴⁹, which is confirmed by the information in the database of Belmont and Mangartz. On the basis of macro- and microscopic images, it can be stated that the images of examined rocks 12 and 15 share common characteristics with the microphotographs from the Belmont and Mangartz database. Therefore, it is very probable that they came from the area of Corfélix in France.

In contrast to less abundant artificial stone and siliceous rocks, the most numerous among the investigated samples were clastic rocks (sandstones). They showed some variation in matrix content, the ratio between the basic component, i.e. quartz and the feldspars or the nature of the cement. On the grounds of diversity observed in the course of research into the abovementioned parameters, a number of sandstone varieties can be distinguished. The first group consists of sandstones 2 and 3 (fig. 10), whose grain-size distribution is highly diversified. The skeleton of such sandstone consists of relatively large grains, often exceeding 1 mm in size. At the same time, fine-grained material occurs abundantly between them and is classified as a filling mass (matrix). The skeleton grains are well rounded, surrounded by clay-siliceous cement with an amount of disseminated ferruginous cement. Among the number of sandstones mentioned by Belmont and Mangartz as used for the production of millstones, similar characteristics appear



Ryc. 11. Muzeum Kaszubski Park Etnograficzny; kamień młyński wyeksponowany w wiatraku holenderskim z Brus (część wewnętrzną z piaskowca kwarcowego); fot. M. Prarat 2018.

Fig. 11. Museum of Kashubian Ethnographic Park. Millstone exhibited in the smock mill in Brusy (inner part made of quartz sandstone); photo by M. Prarat 2018.

wie zróżnicowania wspomnianych parametrów można wydzielić liczne odmiany piaskowców. Pierwsza grupa to piaskowce 2 i 3 (ryc. 10), o bardzo zmiennym uziarnieniu, gdzie w składzie szkieletu występują ziarna relatywnie duże, często przekraczające 1 mm. Jednocześnie pomiędzy nimi obficie występuje drobnookruchowy materiał zaklasyfikowany jako masa wypełniająca. Ziarna szkieletu są dobrze wyoblone, otoczone spoiwem ilasto-krzemionkowym z niewielkim udziałem żelazistego. Wśród piaskowców wymienianych przez Belmonta i Mangartza jako wykorzystywane do produkcji kamieni młyńskich podobne cechy wykazuje piaskowiec kredowy (tu i dalej w sensie geochronologicznym) z Jonsdorf w Niemczech. Według Jensa Götze i Heinera Siedela są to piaskowce kwarcowe środkowo-turońskie, z których odmiany o zlepieńcowatym charakterze (tj. zbliżo-

to be found in Cretaceous sandstone (here and later in the text—in a geochronological sense) from Jonsdorf in Germany. According to Götze and Siedel, these are mid-Turonian quartz sandstones, the conglomerates of which (i.e. similar to samples 2 and 3) were used to produce millstones⁵⁰. These rocks were extracted in the quarries of Teufelsmühle and Katzenkerbe and are strongly affected by brittle deformation, which is probably responsible for the presence of significant (mainly in sample 3) amounts of matrix (of secondary nature)⁵¹. The rocks of this type were often used for millstone production due to the strong thermal impact of nearby igneous rock intrusions, which produce tight sandstone cohesiveness. Notably, Götze and Siedel report that a significant proportion of the skeleton grains is polycrystalline quartz. Similar features were observed

nym do próbek 2 i 3) były używane do produkcji kamieni młyńskich⁵⁰. Odmiany te były wydobywane w łomach Teufelsmühle oraz Katzenkerbe i charakteryzują się silnie zaznaczoną deformacją kruchą, która prawdopodobnie jest odpowiedzialna za obecność znacznych (głównie próbka 3) ilości matriksa (o wtórnym charakterze)⁵¹. Skały te były chętnie stosowane do produkcji kamieni młyńskich ze względu na silne oddziaływanie termiczne pobliskich intruzji skał magmowych, co doprowadziło do nadania szczególnej spoiwości piaskowcom. Co istotne, Götze i Siedel podają, że znaczna część ziaren szkieletu to polikrystaliczny kwarc. Podobne cechy dają się zaobserwować w próbce 2, a w mniejszym stopniu w próbce 3. Wykonane przez Götze i Siedela analizy chemiczne skał z łomu Teufelsmühle i Katzenkerbe ukazują dominację krzemionki, przy nikłym udziale tlenków innych pierwiastków, w tym K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , co sugeruje, że w skałach tych ilość skaleni jest niska – podobnie jak w próbkach 2 i 3 (skaleni nieliczne lub ich brak). Proponowaną proveniencję, tj. okolice Jonsdorf dla próbek 2 i 3, wydaje się potwierdzać fakt, że kamienie młyńskie z tej lokalizacji znajdowano na terenie Polski⁵².

Jako inne skały wykorzystane do produkcji kamieni młyńskich 2 i 3 można m.in. rozważyć podobne pod względem petrograficznym tzw. piaskowce Macquenoise, określane jako „Arkose of Haybes” czy „Arkose of Macquenoise”⁵³. Mimo nazwy wskazującej na arkozowy charakter, są to skały kwarcowe, gdzie skalenie – choć obecne – nie przekracza 1% objętości. Co istotne, skały te zawierają kryształy turmalinu, który – mimo że akcesoryczny – spotykany jest dość często; jego obecność obserwowano w części badanych próbek, w tym w próbkach 2 i 3. Również znana z produkcji kamieni młyńskich jest miejscowość Perg w Austrii. Wydobywano tu piaskowiec kwarcowy⁵⁴, zbudowany z ziaren wielkości 1–2 mm⁵⁵, co nadaje skale zlepiający charakter. Jednak choć podaje się międzynarodowe rozprzestrzenienie materiału z okolic Perg, wydaje się wątpliwe, aby kamienie młyńskie reprezentowane przez próbki 2 i 3 pochodziły z tej lokalizacji, ponieważ jako spoiwo skały występuje cement kalcytowy, którego nie obserwowano w badanych próbkach⁵⁶.

Zbliżoną proveniencję (południowo-wschodni region Niemiec, okolice Drezna) można sugerować dla piaskowców kwarcowych 11 i 17 (ryc. 11). Są to skały o charakterze arenitów kwarcowych, zbudowane prawie wyłącznie z kwarcu, przy ewentualnym nikłym udziale skaleni czy składników litycznych. Są średnioziarniste o dość dobrym stopniu wysortowania i spoiwie ilasto-krzemionkowym. Podobne pod tym względem są piaskowce kredowe z okolic Drezna⁵⁷, określane jako tzw. Elbe Sandstein, do których można zaliczyć wspomniane już piaskowce kredowe z okolic Jonsdorf. Tradycyjnie piaskowce kredowe dzielono na dwie odmiany: Cotta i Posta, różniące się uziarnieniem, a przede wszystkim spoiwem⁵⁸. Pierwsza odmiana to piaskowce stosunkowo drobnoziarniste o dominującym spoiwie ilastym, druga natomiast to piaskowce grubiej ziarniste, o spoiwie głównie krzemionkowym. Próbkę 11 i 17 pod względem petrograficz-

in the case of sample 2 and, to a lesser extent, sample 3. Chemical analyses of Teufelsmühle and Katzenkerbe rocks carried out by the authors show the dominance of silica, with a slight contribution of oxides of some other elements, including K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , which suggests that the number of feldspars is small, similarly to the ones observed in samples 2 and 3 (few or no feldspars). The suggestion that the rocks present in samples 2 and 3 might have come from the area of Jonsdorf seems to be supported by the fact that the millstones from the abovementioned location were found in Poland⁵².

Some other rocks which were used to make millstones (samples 2 and 3) might be taken into account as well. For instance, Macquenoise sandstones, also known as „Arkose of Haybes” or „Arkose of Macquenoise”⁵³, are petrographically similar. They seem to have an arkosic nature, but they are quartz rocks, in which feldspars, although present, do not exceed 1% by volume. Importantly, these rocks contain some tourmaline crystals, which occur here as an accessory mineral, quite frequently present. Its presence was observed in some of the studied samples, including samples 2 and 3. The town of Perg in Austria is also known for production of millstones. Quartz sandstone was mined there⁵⁴, composed of grains of 1–2 mm in size⁵⁵, which imposed the nature of conglomerates on the rocks. However, although an international spread of material from the Perg area is reported, it seems doubtful that the millstones represented by the samples 2 and 3 came from this location. This is due to the fact that calcite cement occurs here as a rock binder, which was not observed in the samples under study⁵⁶.

A similar provenance (i.e. the south-eastern region of Germany, around Dresden) can be suggested for quartz sandstone 11 and 17 (fig. 11). These are quartz arenite rocks, built almost exclusively of quartz, with a possible slight contribution of feldspars or lithic components. They are medium-grain rocks with a fairly good degree of sorting, with silica and clay cement. In this respect, the abovementioned cretaceous sandstone from the area of Dresden (so-called Elbe Sandstein) seem to be comparable⁵⁷. Cretaceous sandstone from the vicinity of Jonsdorf belongs to the same group of stones. Traditionally, cretaceous sandstones occurred in two varieties: Cotta and Posta. They differ in terms of grain size and, most importantly, in terms of the cements⁵⁸. The former are relatively fine-grained sandstones with a dominant clay cement, while the latter are coarse-grained sandstones with mainly siliceous cement. Both samples 11 and 17 were petrographically similar to the Cotta variation, dominated by quartz with an intermittent presence of feldspars. On the other hand, unlike Jonsdorf sandstones, no information was found in sources confirming that the millstones were made of a cretaceous sandstone variation, except the abovementioned conglomerate from around Jonsdorf. Notably, these samples were taken from the central part of the stones, the so-called waists. For sample 11, the origin of the outer part was attrib-

nym zbliżone są do odmiany Cotta, zdominowane przez kwarc, sporadycznie zawierają skalenie. Z drugiej strony, w odróżnieniu od piaskowców Jonsdorf, w źródłach nie znaleziono informacji potwierdzających wykonywanie kamieni młyńskich z odmian piaskowców kredowych poza wspomnianymi odmianami zlepieńcowatymi z okolic Jonsdorf. Co istotne, próbki te należą do środkowej części kamieni, tzw. serca. W próbce 11 pochodzenie części zewnętrznej przypisano okolicom Corfélix we Francji. W tym kraju piaskowce występują w okolicach miejscowości Montmirail⁵⁹, w której wykonuje się kamienie młyńskie. To, że kamienie reprezentowane przez próbki 11 i 17 pochodzą właśnie stamtąd, wydaje się o tyle prawdopodobne, że Belmont i Mangartz wskazują XVII–XIX stulecia jako czas wydobycia, a Francję, Niemcy i kraje ościennie jako kierunki rozprzestrzenienia się⁶⁰. Charakter zbliżony petrograficznie do próbek 11 i 17 mają piaskowce krzemionkowe z okolic Blanzay, pozyskiwane do XIX wieku i rozprzestrzeniane regionalnie⁶¹, a także piaskowce o charakterze arenitów kwarcowych znane z okolic Arras (północno-wschodnia Francja), ale one wykorzystywane były głównie w czasach rzymskich wyłącznie na potrzeby lokalne⁶². Również jako potencjalny surowiec można rozważyć zdominowane przez kwarc „Arkose of Haybes”, które zawierają pojedyncze i akcesoryczne kryształy turmalinu, obecne w próbce 17⁶³.

Całkowicie odmienny charakter w porównaniu z omówionymi wyżej próbkami piaskowców 2, 3, 11, 17 mają podobne do siebie piaskowce 4, 5, 8, 10. One także zdominowane są przez kwarc, jednak w odróżnieniu od powyższych zawierają istotne ilości skaleni. Ich obecność nadaje piaskowcom arkozowy charakter. W bazie danych Belmonta i Mangartza można odnaleźć liczne lokalizacje na terenie Francji, skąd skały tego rodzaju pozyskiwano do produkcji kamieni młyńskich, np. w regionie Frenchcomte, m.in. w okolicach miejscowości Moisse, Malange, Thervay. Jednak z braku dokładniejszych danych petrograficznych trudno dokonać porównania wymienionych tam skał i badanych próbek piaskowców. W tym przypadku niezbędne byłoby dokładne studium rekordów bazy i porównywanie ich z innymi danymi literaturowymi celem doprecyzowania litologii skał, a następnie porównanie z uzyskanymi w trakcie własnych badań danymi mineralogiczno-petrograficznymi.

Pozostałe dwie próbki, 6 i 7, to skały magmowe. W odróżnieniu od wyżej dyskutowanych, informacji na temat wykorzystania granitoidów jest znacznie mniej. Granitoidy wydobywano na potrzeby kół młyńskich m.in. w departamencie Ariège czy regionie Freyssenet we Francji⁶⁴. Trudno jednak wskazać konkretną lokalizację ze względu na dość skąpe informacje. Z drugiej strony petrograficzny charakter skał (skały magmowe głębinowe) sugeruje szukać w bogatym w te odmiany regionie skandynawskim. W tym przypadku żadna z litologii podawanych w bazie Belmonta i Mangartza nie odpowiada badanym próbkom. Jednocześnie nie można wykluczyć, że używano narzutniaków lodowcowych skał skandynawskich zebranych w okolicach, gdzie obecnie zlokalizowane są koła młyńskie,

uted to the area of Corfélix in France. As for this part of the country, the sandstones from Montmirail area are well known and the town is mentioned as a place of making millstones⁵⁹. The Montmirail origin of the stones represented by samples 11 and 17 seems likely as Belmont and Mangartz indicate that the stones were extracted between the seventeenth and the nineteenth century, and then spread over France, Germany and their neighboring countries⁶⁰. Of a similar petrographic nature to samples 11 and 17 siliceous sandstones form the region of Blanzay, which had been extracted until the nineteenth century, although spread rather locally⁶¹. Arenite quartz sandstones known from around the town of Arras are similar to samples 11 and 17. However, they were used only locally, mainly in Roman times⁶². Another material, which could be taken into consideration here, was the „Arkose of Haybes”, dominated by quartz, with single and accessory tourmaline crystals present in sample 17⁶³.

Sandstones 4, 5, 8, 10, which are still similar to one another, are of completely different nature. They are also quartz-dominated sandstones; however, unlike the abovementioned rocks, they contain significant amounts of feldspars. Their presence contributes to the arkosic character of the sandstone. In the Belmont and Mangartz database, a number of locations can be found in France from where such rocks were extracted for the millstone production. For example, a number of locations are marked in the Frenchcomte region, near the cities of Moisse, Malange and Thervay. In this case, however, due to the lack of more accurate petrographic data, it is difficult to compare the rocks listed there with the sandstone samples under study. It would be necessary to study the records thoroughly and to compare them with the literature in order to clarify rock lithology. Consequently, they would have to be compared with mineralogical and petrographic data obtained through the author's own mineralogical and petrographic analyses.

Two remaining samples, i.e. samples 6 and 7, were igneous rocks. Unlike the samples discussed above, there is much less information on the use of granitoids. Granitoids were mined use as mill wheels in, among other places, the department of Ariège or the Freyssenet region in France⁶⁴. In this case, it is difficult to unequivocally pinpoint a specific location due to the rather scarce amount of information. On the other hand, the petrographic nature of the rocks (igneous rocks) suggests that we should turn to Scandinavia, which is rich in these rock variations. None of the lithologies given in the Belmont and Mangartz database match the samples tested. At the same time, it must be taken into account that in this case certain glacial erratics of Scandinavian rocks were used, collected in the vicinity where the mill wheels are currently located and from where the investigated samples were obtained. This theory is justified because there are numerous deposits of glacial erratics in Pomerania, e.g. in Kartuzy, with igneous rocks being dominant⁶⁵.

z których pozyskano badane próbki. Teza ta jest o tyle uzasadniona, że w regionie pomorskim (np. w okolicach Kartuz) występują liczne złoża narzutniaków, wśród których dominują skały magmowe⁶⁵.

Podsumowanie

Przebadano pod względem petrograficznym 15 prób: trzy wykonano ze sztucznego kamienia, 8 okazało się piaskowcami kwarcowymi, dwie to skały osadowe krzemionkowe/chalcedonit-czert, jedna jest granitem/granitoidem, jedna anortozytem kwarcowym. Większość z nich była wykorzystywana w wiatrakach. W niektórych przypadkach wymiary kamieni pozwalają określić, czy był to biegun, czy leżak. Wielkości odpowiadają informacjom przedstawianym w podręcznikach młynarskich. Zdecydowanie mniejsze były żarna, służące zapewne jako śrutowniki.

Wśród przebadanej grupy charakter monolityczny mają piaskowce kwarcowe (sporządzone z jednego kawałka skały), a w jednym przypadku odlany sztuczny kamień. Sposób ich opracowania to najczęściej półkolistą linią zaostrenia; na kamieniu z Drewnicy odkryto wyryty krzyż. Część z nich najprawdopodobniej mogła pochodzić z łomów Teufelsmühle i Katzenkerbe na terenie Niemiec.

Drugą grupę tworzą tzw. francuzy, łączone z kilkunastu fragmentów – części wewnętrzne, tzw. serca, wykonane były z piaskowca kwarcowego. Możliwa jest proveniencja z Niemiec, ale również z Francji, co wydaje się bardziej prawdopodobne. Pozostała, główna część łączona zaprawą pochodziła ze sztucznego kamienia lub skały osadowej krzemionkowej/chalcedonit-czert/. W tym wypadku najbliższą strukturę wykazują skały z okolic Corfélix we Francji. W kamieniach tych występuje prosta linia zaostrenia.

W dwóch wypadkach skały miały zapewne miejscowe pochodzenie. Pozyskiwanie polnych kamieni do przemiału znane jest na Pomorzu już od średniowiecza. Zastosowanie spoiwa magnezjowego datuje kamienie najpóźniej na koniec lat sześćdziesiątych XIX wieku. W próbce 7 określenie rodzaju skały może potwierdzić hipotezę, że pierwotnie kamień ten wykorzystywany był jako żarna, a dopiero w XVIII stuleciu wykonano z niego kamień nagrobny.

Przeprowadzone badania miały charakter sondażowy. Wnioski z nich płynące pozwalają na dokładne określenie typu skał, z jakich zostały przygotowane, a czasami też lokalizacji złóż. Gdyby udało się zebrać większą bazę danych kamieni, a także materiału porównawczego, liczba wniosków mogłaby być znacznie większa i bardziej precyzyjna, np. można byłoby określić właściwości fizyczne kamieni naturalnych i sztucznych w kontekście przemiału, miejsce ich wydobycia, jakość wykonania w różnych zakładach, a w szerszym kontekście kontakty handlowe na przestrzeni XIX wieku. Zaproponowana metoda badawcza na pewno rzuca nowe światło na kamienie młyńskie, pozwalając na wyartykułowanie nowych wartości tkwiących w tych niepozornych, ale jakże ważnych zabytkach

Conclusions

Petrographic research conducted on fifteen samples revealed that three of them were made of artificial stone, eight appeared to be made of quartz sandstone, two of sedimentary siliceous rocks, one turned out to be granite/granitoid and one quartz anorthosite.

The majority of them was used in windmills. In certain cases, the sizes of the stones made it possible to identify whether the stone served as a bed stone or a runner. They also correspond with the contents of milling coursebooks. Quern-stones, which were used as grinders, were definitely smaller in size.

Within the stones under study, the ones made of quartz sandstone and one cast artificial stone had monolithic features, i.e. they were made of one piece of rock. They were typically made using a circular sharpening line. In one case, on the stone from Drewnica, a graven cross was observed. Some of them most probably came from the quarries in Teufelsmühle and Katzenkerbe in Germany.

The other group contains so-called French millstones built from several sections. Their inner parts (the so-called *waists*) were made of quartz sandstone, which might have originated from Germany or, more likely, from France.

The remaining, main section of the millstones cemented with mortar were made of artificial stone or siliceous sedimentary rock / chalcedonite-chert /. In this case, rocks from near Corfélix in France showed the greatest structural similarity. These stones show a straight sharpening line.

In two cases, the rocks were probably of local origin. The use of field stones in milling had been known in Pomerania since the Middle Ages. The use of magnesium oxychloride binder dates the stones to no later than the end of the 1860s.

In the case of sample 7, determining the type of a rock can confirm the hypothesis that originally this stone had been used as a quern-stone, and it was turned into a gravestone in the eighteenth century.

The study was conducted in the form of a survey. The conclusions drawn from the research enable an accurate determination of the type of rocks from which the millstones were made, and in some cases also the locations of the rock deposits.

With the possibility of collecting a larger database of the stones and comparative material, the number of conclusions might be much greater and more precise, e.g. determining the physical properties of natural and artificial stones in the context of milling, the place of their extraction or the quality of workmanship in various plants, and, in a wider context, of trade contacts in the nineteenth century. The proposed research method certainly sheds new light on millstones and makes it possible to highlight completely new values hidden in these inconspicuous, but very important material culture monuments. In a great many cases these are the only remnants of a

kach kultury materialnej. Niejednokrotnie są to jedyne pozostałości po zakładzie przemysłowym, który dawno zniknął z krajobrazu kulturowego. Dlatego autorzy postulują intensyfikację badań petrograficzno-mineralogicznych kamieni młyńskich na terenie Polski.

functioning industrial plant that has already disappeared from the cultural landscape. Therefore, the authors of this paper postulate intensification of petrographic and mineralogical research of millstones in Poland.

Bibliografia / References

Archiwalia / Archive materials

Archiwum Państwowe w Toruniu, Starostwo Powiatowe w Brodnicy 1780–1919, sygn. 102.

Archiwum Państwowe w Toruniu, Starostwo Powiatowe w Toruniu 1818–1920, sygn. 651.

Opracowania / Secondary sources

Azema Jean-Pierre, Meucci Roger, Naud Georges, *Carrières et diffusion des meules de moulins dans le département de l'Ardeche (début du XIXe s.)*, [w:] *Meules à Grains. Actes du Colloque International de La Ferté-sous-Jourarre 16–19 Mai 2002*, red. Mouette Barboff, Francois Sigaut, Cozette Griffin-Kremer, Robert Kremer, Paris 2003, s. 239–258.

Baranowski Bogdan, *Polskie młynarstwo*, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk 1977.

Bartyś Julian, *Zmiany w technice urządzeń mielących od XVII do początków XX wieku*, [w:] *Z dziejów młynarstwa w Polsce*, Warszawa 1970, s. 101–181.

Belmont Alain, Mangartz Fritz, *European millstone quarries: a database*, <http://meuliere.ish-lyon.cnrs.fr/> (dostęp: 9 XII 2018).

Bread for the People. The Archeology of Mills and Milling. Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome 4th–7th November 2009, red. David Williams, David Peacock, International Series BAR 2011.

Czys Wolfgang, *Mühlsteinhauer im bayerischen Inntal*, [w:] *Wassermühlen und Wassernutzung im mittelalterlichen Ostmitteleuropa*, Stuttgart 2015, s. 279–309.

Das grosse Ämterbuch des Deutschen Ordens, red. Walther Ziesemer, Danzig 1921.

Długocki Wiesław, Kuczyński Jan, Pospieszna Barbara, *Młyny w Malborku i okolicach od XIII do XIX w.*, Malbork 2004.

Gładkowski Andrzej, *Historia techniki młynarstwa polskiego*, [w:] *Inżynierowie polscy w XIX i XX wieku*, t. 11, red. Z. Mrugański, Warszawa 2008.

Gomes Carlos Marmorato, de Oliveira Alda Dionisio, *Chemical phases and microstructural analysis of pastes based on magnesia cement*, „Construction and Building Materials” 2018, vol. 188, s. 615–620.

Götze Jens, Siedel Heiner, *A complex investigation of building sandstones from Saxony (Germany)*, „Materials Characterization” 2007, nr 58, 1082–1094.

Götze Jens, Siedel Heiner, *Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany)*, „Materials Characterization” 2004, nr 53, s. 209–222.

Hockensmith Charles D., *The Millstone Industry. A Summary of Research on Quarries and Producers in the United States, Europe and Elsewhere*, Jefferson (North Carolina)–London 2009.

Kozłowski Stefan, *Surowce skalne Polski*, Warszawa 1986. „Kreis Blatt des Königlich Preußischen Landraths Amts zu Thorn” 1851 (21 II), nr 8.

Kubicki Rafał, *Młynarstwo w państwie zakonu krzyżackiego w Prusach w XIII–XV wieku (do 1454 r.)*, Gdańsk 2012.

Lucas Adam, *Wind, water work. Ancient and Medieval Milling Technology*, Leiden–Boston 2011.

Małazycki Stanisław, *Młynarstwo zbożowe*, t. 1, Warszawa 1890.

Meules à Grains. Actes du Colloque International de La Ferté-sous-Jourarre 16–19 Mai 2002, red. Mouette Barboff, Francois Sigaut, Cozette Griffin-Kremer, Robert Kremer, Paris 2003.

Moog Berthold, *Einführung in die Mühlenkunde. Grundlage, Technik, Geschichte und Kultur der traditionellen Mühlen*, Binningen 2012.

Mühlsteinbrüche. Erforschung, Schutz und Inwertsetzung eines Kulturerbes Europäischer Industrie (Antike – 21. Jahrhundert), Hrsg. Alain Belmont, Fritz Mangartz, Mainz 2006.

Picavet Paul, Reniere Sibrecht, Cnudde Veerle, De Clercq Wim, Dreesen Roland, Fronteau Gilles, Goemaere Eric, Hartoch Else, *The Macquenoise sandstone (Devonian – Lochkovian), a suitable raw material for ancient querns and millstones: quarries, properties, manufacture and distribution in France and Belgium*, „Geologica Belgica” 2018, nr 21 (1–2), s. 27–40.

PN-EN 12407, *Metody badań kamienia naturalnego, badania petrograficzne* 2001.

Reniere Silbert, Dreesen Roland, Fronteau Gilles, Gluhak T. Goemaere Eric, Hartoch Else, Picavet Paul, De Clercq Wim, *Querns and mills during Roman times at the northern frontier of the Roman Empire (Belgium, northern France, southern Netherlands, western Germany)*, *Unravelling geological and geographical provenances, a multidisciplinary research project*, „Journal of Lithic Studies” 2016, vol. 3, nr 3, s. 403–428.

Reynolds Terry S., *Stronger than a hundred men. A history of the Vertical Water Wheel*, Baltimore–London 1983.

Roduit Nicolas, *JMicroVision: Image analysis toolbox for measuring and quantifying components of high-definition images*, version 1.2.2, <http://www.jmicrovision.com> (dostęp: 25 XI 2014).

- Rzepkowski Krzysztof, *Złoty kciuk. Młyn i młynarze w kulturze Zachodu*, Warszawa–Toruń 2015.
- Schön Volkmar, *Die Mühlsteine von Haithabu und Schleswig. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte des mittelalterlichen Mühlenwesens in Nordwesteuropa*, Neumünster 1995.
- Świąch Jan, *Tajemniczy świat wiatraków*, Łódź 2005, s. 147–148.
- „Thorner Kreis Blatt” 1865 (26 IV), nr 33.
- Ward Owen, *French Millstones. Notes in the millstones industry at La Fetré-Sous-Jouarre*, The International Molinological Society 1993.
- Ward Owen, *Millstones from France: the survey of 1808/1809*, [w:] *Meules à Grains. Actes du Colloque International de La Ferté-sous-Jouarre 16–19 Mai 2002*, red. M. Barboff, F. Sigaut, C. Griffin-Kremer, R. Kremer, Paris 2003, s. 267–280.
- Zysnarski Jerzy, *Ile Pauckscha w Ursusie? Przyczynki do biografii Hermanna Pauckscha i dziejów jego fabryki*, „Zeszyty Naukowe. Nowa Marchia – Prowincja Zapomniana – Ziemia Lubuska – Wspólne Korzenie” 2011, nr 9, s. 153–181.

- ¹ T.S. Reynolds, *Stronger than a hundred men. A history of the Vertical Water Wheel*, Baltimore–London 1983, s. 70.
- ² J. Świąch, *Tajemniczy świat wiatraków*, Łódź 2005, s. 147–148.
- ³ Nauką zajmującą się dziś wiedzą i badaniami nad początkami, rozwojem, dystrybucją, techniką i funkcją młynów napędzanych przez wodę, wiatr lub inne siły będzie molinologia. Zob. B. Moog, *Einführung in die Mühlenkunde. Grundlage, Technik, Geschichte und Kultur der traditionellen Mühlen*, Binningen 2015, s. 1. Do ważniejszych opracowań na temat kamieni młyńskich należą: O. Ward, *French Millstones. Notes in the millstones industry at La Fetré-Sous-Jouarre*, The International Molinological Society 1993; V. Schön, *Die Mühlsteine von Haithabu und Schleswig. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte des mittelalterlichen Mühlenwesens in Nordwesteuropa*, Neumünster 1995; Ch.D. Hockensmith, *The Millstone Industry. A Summary of Research on Quarries and Producers in the United States, Europe and Elsewhere*, Jefferson (North Carolina)–London 2009; *Bread for the People. The Archeology of Mills and Milling. Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome 4th–7th November 2009*, red. D. Williams, D. Peacock, International Series BAR 2011; *Meules à Grains. Actes du Colloque International de La Ferté-sous-Jouarre 16–19 Mai 2002*, red. M. Barboff, F. Sigaut, C. Griffin-Kremer, R. Kremer, Paris 2003; *Mühlsteinbrüche. Erforschung, Schutz und Inwertsetzung eines Kulturerbes Europäischer Industrie (Antike – 21. Jahrhundert)*, red. A. Belmont, F. Mangartz, Mainz 2006; W. Czysty, *Mühlsteinhauer im bayerischen Inntal*, [w:] *Wassermühlen und Wassernutzung im mittelalterlichen Ostmitteleuropa*, Stuttgart 2015, s. 279–309; S. Reniere, R. Dreesen, G. Fronteau, T. Gluhak, E. Goemaere, E. Hartoch, P. Picavet, W. De Clercq, *Querns and mills during Roman times at the northern frontier of the Roman Empire (Belgium, Northern France, Southern Netherlands, Western Germany): Unraveling geological and geographical provenances, a multidisciplinary research project*, „Journal of Lithic Studies” 2016, vol. 3, nr 3, s. 403–428; P. Picavet, S. Reniere, V. Cnudde, W. De Clercq, R. Dreesen, G. Fronteau, E. Goemaere, E. Hartoch, *The Macquenoise sandstone (Devonian – Lochkovian), a suitable raw material for ancient querns and millstones: quarries, properties, manufacture and distribution in France and Belgium*, „Geologica Belgica” 2018, nr 21 (1–2), s. 27–40.
- ⁴ A. Belmont, F. Mangartz, *European millstone quarries: a database*, <http://meuliere.ish-lyon.cnrs.fr/> (dostęp: 9 XII 2018).
- ⁵ Z ważniejszych autorów omawiających rodzaje i wykorzystanie kamieni młyńskich należy wymienić Stanisława Małaszyckiego i Juliana Bartysia; zob. S. Małaszycki, *Młynarstwo zbożowe*, t. 1, Warszawa 1890; J. Bartyś, *Zmiany w technice urządzeń mielących od XVII do początków XX wieku*, [w:] *Z dziejów młynarstwa w Polsce*, Warszawa 1970, s. 101–181.
- ⁶ A. Lucas, *Wind, water work. Ancient and Medieval Milling Technology*, Leiden–Boston 2011, s. 9–11.
- ⁷ Ibidem, s. 13; K. Rzepkowski, *Złoty kciuk. Młyn i młynarze w kulturze Zachodu*, Warszawa–Toruń 2015, s. 31–35.
- ⁸ T.S. Reynolds, op. cit., s. 14–16; A. Lucas, op. cit., s. 15.
- ⁹ Ibidem, s. 101–114.
- ¹⁰ A. Gładkowski, *Historia techniki młynarstwa polskiego*, [w:] *Inżynierowie polscy w XIX i XX wieku*, red. Z. Mrugałski, t. 11, Warszawa 2008, s. 17.
- ¹¹ Ibidem, s. 24.
- ¹² B. Baranowski, *Polskie młynarstwo*, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk 1977, s. 17–18.
- ¹³ J. Bartyś, op. cit., s. 101.
- ¹⁴ Ibidem, s. 102–103.
- ¹⁵ S. Małaszycki, op. cit., s. 249.
- ¹⁶ S. Małaszycki, op. cit., s. 250; J. Bartyś, op. cit., s. 102. Więcej na temat złóż kamieni młyńskich w Europie zob. Ch.D. Hockensmith, op. cit., s. 138–150.
- ¹⁷ Kamienie wykonywane z jednego elementu można było spotkać jeszcze w połowie XIX w. Mniejsze kawałki najpierw łączono gipsem, później cementem; zob. O. Ward, op. cit., s. 25–26, 40.
- ¹⁸ Serce przenosiło i rozmieszczało ziarna zsypujące się przez oko, dlatego wykonywano je z surowca mniej wartościowego. Oko w leżaku musiało być nieco większe w celu odprowadzania mlewa, służyło również do wentylacji; zob. J. Bartyś, op. cit., s. 112–113.
- ¹⁹ Ibidem.
- ²⁰ Ibidem.
- ²¹ S. Małaszycki, op. cit., s. 289–318; J. Bartyś, op. cit., s. 115–117.
- ²² R. Kubicki, *Młynarstwo w państwie zakonu krzyżackiego w Prusach w XIII–XV wieku (do 1454 r.)*, Gdańsk 2012.
- ²³ Oczywiście istniała różnica pomiędzy ich ceną: pierwsze kosztowały od 4 do 15 grzywien, drugie jedynie kilka; ibidem, s. 156, 158–159.
- ²⁴ Ibidem, s. 156.
- ²⁵ *Das grosse Ämterbuch des Deutschen Ordens*, red. W. Ziesemer, Danzig 1921, s. 112.
- ²⁶ W. Długokęcki, J. Kuczyński, B. Pospieszna, *Młyny w Malborku i okolicach od XIII do XIX w.*, Malbork 2004, s. 63.
- ²⁷ Ibidem.
- ²⁸ Co ciekawe, w wykazie kamieni dla młynów malborskich w pierwszej połowie XVIII w. kamienie polne wykorzysty-

- wano tylko w gankach słodowych, ewentualnie śrutowych; ibidem, s. 62.
- ²⁹ Na obu złożeniach znajduje się żeliwna obejma nałożona na oko z inskrypcją: *Fabrik Franzoesicher Maehlensteine von. C.R. Risch Landsberg*. Fabryka kamieniarska C.R. Risch została założona w 1864; zob. J. Zysnarski, *Ile Pauckscha w Ursusie? Przyczynki do biografii Hermanna Pauckscha i dziejów jego fabryki*, „Zeszyty Naukowe. Nowa Marchia – Prowincja Zapomniana – Ziemia Lubuska – Wspólne Korzenie” 2011, nr 9, s. 163.
- ³⁰ Zachowany napis: W. Hasse Elbing, Kamień eksponowany obecnie na terenie Kaszubskiego Parku Etnograficznego.
- ³¹ Na terenie Torunia działała firma Hermana Wechsela; zob. „Thorner Kreis Blatt” 1865 (26 IV), nr 33, s. 135.
- ³² Archiwum Państwowe w Toruniu, Starostwo Powiatowe w Brodnicy 1780–1919, sygn. 102, k. 13r.
- ³³ Archiwum Państwowe w Toruniu, Starostwo Powiatowe w Toruniu 1818–1920, sygn. 651, pismo z dnia 25 listopada 1850; „Kreis Blatt des Königlich Preußischen Landrathsamtes zu Thorn” 1851 (21 II), nr 8, s. 37.
- ³⁴ Dwie próby pochodziły z tego samego złożenia o analogicznym materiale, tzw. francuzów, dlatego ostatecznie nie zostały zakwalifikowane do bardziej szczegółowych badań.
- ³⁵ Miejsce po wiatraku w Mikoszewie (próby nr 1, 2, 3); wiatrak w Drewnicy (próby nr 4, 5); wiatrak w Kurkocinie (próba nr 11, 12, 13); wiatrak z Brus, obecnie w Kaszubskim Parku Etnograficznym (próba nr 17).
- ³⁶ Koła żaren złożone na terenie Cmentarza Jedenastu Wsi – Lapidarium Sztuki Sepulkralnej w Cyganku (próby nr 8, 9, 10).
- ³⁷ Koło wodne z nieistniejącego młyna koło Gdańska, przechowywane na terenie Kaszubskiego Parku Etnograficznego (próba nr 15).
- ³⁸ Fragment koła wykorzystany w bruku przy domu, obok lapidarium w Cyganku.
- ³⁹ Kamień znajduje się na terenie Cmentarza Jedenastu Wsi – Lapidarium Sztuki Sepulkralnej w Cyganku (próba nr 7).
- ⁴⁰ Kamień z wiatraka w Drewnicy, próba nr 5.
- ⁴¹ PN-EN 12407, Metody badań kamienia naturalnego, badania petrograficzne 2001, s. 6.

- ⁴² N. Roduit, *JMicroVision: Image analysis toolbox for measuring and quantifying components of high-definition images*, version 1.2.2, <http://www.jmicrovision.com> (dostęp: 25 XI 2014).
- ⁴³ Ibidem.
- ⁴⁴ Wynaleziony przez Stanisława Sorela w 1827; zob. C.M. Gomes, A.D. de Oliveira, *Chemical phases and microstructural analysis of pastes based on magnesia cement*, „Construction and Building Materials” 2018, vol. 188, s. 616.
- ⁴⁵ A. Belmont, F. Mangartz, op. cit.
- ⁴⁶ Ibidem.
- ⁴⁷ O. Ward, op. cit., s. 8, 18–24.
- ⁴⁸ Ch.D. Hockensmith, op. cit., s. 127.
- ⁴⁹ A. Belmont, F. Mangartz, op. cit.
- ⁵⁰ J. Götz, H. Siedel, *A complex investigation of building sandstones from Saxony (Germany)*, „Materials Characterization” 2007, nr 58, s. 1083.
- ⁵¹ Ibidem.
- ⁵² Ibidem.
- ⁵³ P. Picavet, S. Reniere, V. Cnudde et al., op. cit., s. 29–39; S. Reniere, R. Dreesen, G. Fronteau et al., op. cit., s. 412–413.
- ⁵⁴ Ch.D. Hockensmith, op. cit., s. 125.
- ⁵⁵ A. Belmont, F. Mangartz, op. cit.
- ⁵⁶ Ibidem.
- ⁵⁷ J. Götz, H. Siedel, *Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany)*, „Materials Characterization” 2004, nr 53, s. 212–213; eidem, *A complex*, s. 1083–1084.
- ⁵⁸ Eidem, *Microscopic scale*, s. 212–213; eidem, *A complex*, s. 1083.
- ⁵⁹ A. Belmont, F. Mangartz, op. cit.; O. Ward, op. cit., s. 11.
- ⁶⁰ A. Belmont, F. Mangartz, op. cit.
- ⁶¹ Ibidem.
- ⁶² S. Reniere, W. De Clercq, R. Dreesen et al., op. cit., s. 415.
- ⁶³ Ibidem, s. 412; P. Picavet, S. Reniere, V. Cnudde et al., op. cit., s. 29.
- ⁶⁴ P.H. Azema, R. Meucci, G. Naud, *Carrières et diffusion des meules de moulins dans le département de l’Ardèche (début du XIXe s.)*, [w:] *Meules à Grains. Actes du Colloque International de La Ferté-sous-Jouarre 16–19 Mai 2002*, red. M. Barboff, F. Sigaut, C. Griffin-Kremer, R. Kremer, Paris 2003, s. 255.
- ⁶⁵ S. Kozłowski, *Surowce skalne Polski*, Warszawa 1986, s. 413.

Streszczenie

Kamienie młyńskie od wieków były głównym elementem systemu roboczego zakładów napędzanych siłą wody i wiatru. Te niezwykle cenne zabytki kultury materialnej rozpoznane są jednak w nieznacznym zakresie. W ostatnich latach widoczna jest intensyfikacja interdyscyplinarnych metod badawczych w molinologii. Jedną z nich są badania petrograficzne kamieni młyńskich. W polskich opracowaniach brak jednak takiego ujęcia. Dla wybranej, skatalogowanej grupy kamieni z terenów Pomorza autorzy obrali za cel określenie rodzaju skał, miejsca ich pochodzenia oraz funkcji w młynie. Spośród 15 kamieni trzy okazały się sztucznym kamieniem, 8 piaskowcem kwarcowym, jedna granitem, jedna anortozytem kwarcowym, dwie skałami osadową krzemionkową. Dla części udało się także określić miejsce pochodzenia z łomów niemieckich i francuskich, niektóre mogły być pochodzenia miejscowego.

Abstract

Millstones have been the main element of the working system of plants powered by water and wind for centuries. However, these extremely valuable monuments of material culture are recognized to a rather small extent. Recent years have seen a certain intensification of interdisciplinary research in the field of molinology. One of them is petrographic study of millstones. Yet, Polish studies still lack this kind of approach. This paper is aimed at determining the types of rocks, their origins and functions within the mill structure. In a group of fifteen stones, three were made of artificial stone, eight turned out to be quartz sandstones, one is made of granite and one of quartz anorthosite, two proved to be made of sedimentary siliceous rock. Certain rocks have been determined to be of German or French origin, whereas the others could have been acquired locally.