

Dr Eng. Aleksandra Gorączko^{1)*}

ORCID: 0000-0002-1448-9332

Dr Marcin Gorączko¹⁾

ORCID: 0000-0002-8866-6645

Clay mortars in traditional masonry buildings of soft limestone – research on composition and structure

Zaprawy gliniane w tradycyjnych budynkach murowanych z opok *– badanie składu i struktury*

DOI: 10.15199/33.2024.07.04

Abstract. The article presents the results of the analysis of the granulometric and mineralogical composition of clay mortars used in traditional rural construction. This is the next stage of research aimed at reproducing old masonry techniques used in the area between the Warta and Ner rivers, in the central part of Poland. They involved the buildings from local soft limestone and brick obtained by field firing, bonded with clay mortar. Objects constructed using this technology constitute a clear architectural and landscape distinctiveness of this region and are increasingly recognized as an important heritage of material culture.

Keywords: clay mortar; soft limestone; masonry buildings; building stone.

In certain regions of Poland, including the central part of the country between the Warta and Ner rivers, natural stone was used in traditional rural and small-town construction to erect walls. This material came from local deposits of Upper Cretaceous sedimentary carbonate rocks, most commonly classified petrographically as soft limestone (fossiliferous rocks), and also as marls (muddy limestones). Even today, objects constructed using this technology are significantly represented in this area and constitute an important element of the regional cultural heritage and architectural landscape.

As a specific material soft limestone, due to its workability and porosity, was used for a long time to construct residential and farm buildings. Until the end of the 1960s, it successfully replaced wood and ceramic brick in this region, and the original technology allowed for the construction of walls with significant durability and interesting aesthetics [4]. The properties of this building material have been presented in the authors' previous works [5, 6]. To bind the stone masonry elements, mortar based on natural glacial clays, a raw material quite common in the analyzed area, was primarily used (Fig. 1).

Clay mortars effectively served as a binder for stone elements made of soft limestone. This is evidenced by the numerous walls still preserved today, which, if properly protected with roof eaves from being soaked by rainwater, have remained in impeccable condition for 100 years. It is advisable to

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analizy składu granulometrycznego i mineralogicznego zapraw glinianych stosowanych w tradycyjnym budownictwie wiejskim. Jest to kolejny etap badań mających na celu odtworzenie dawnych technik murarskich stosowanych w międzyrzeczu Warty i Neru, w centralnej części Polski. Polegały one na wznoszeniu budynków z miejscowego kamienia wapiennego (opoki) i cegły, uzyskiwanej metodą polowego wypału, wiązanych zaprawą glinianą. Obiekty zrealizowane w tej technologii stanowią o wyraźnej odrębności architektonicznej oraz krajobrazowej tego regionu i są coraz częściej uznawane za istotne dziedzictwo kultury materialnej.

Słowa kluczowe: zaprawy gliniane; opoka; budynki murowane; kamień budowlany.

W niektórych regionach Polski, m.in. w centralnej części kraju w międzyrzeczu Warty i Neru, w tradycyjnym budownictwie wiejskim i małomiasteczkowym, do wznoszenia murów stosowano kamień naturalny. Materiał ten pochodził z lokalnych złóż skał osadowych górnej kredy, pod względem petrograficznym klasyfikowanych najczęściej jako opoki, ale również jako gezy, margle oraz wapienie, w ich lekkiej odmianie. W rozpatrywanym rejonie budulec określany jest jako kamień wapienny [4]. Jeszcze dziś obiekty zrealizowane w takiej technologii stanowią istotny element regionalnego dziedzictwa kulturowego i krajobrazu architektonicznego.

Jako specyficzny materiał, kamień wapienny dzięki swojej obrabialności i porowatości przez długi czas służył do wznoszenia budynków mieszkalnych oraz inwentarskich. Do końca lat sześćdziesiątych XX w. z powodzeniem zastępował drewno oraz cegłę ceramiczną, a oryginalna technologia pozwalała na wykonywanie ścian budynków o dużej trwałości i ciekawym wyglądzie [4]. Właściwości tego materiału budowlanego przedstawiono w pracach [5, 6]. Do łączenia kamiennych elementów murowych stosowano przede wszystkim zaprawę na bazie naturalnych glin glacialnych, surowca dość powszechnie występującego na analizowanym obszarze (rysunek 1).

Zaprawy gliniane dobrze spełniały swoją rolę jako spoiwo kamiennych elementów z opoki. Świadczą o tym zachowane ściany, które jeśli były odpowiednio zabezpieczone okapem dachowym przed odgórnym zalewaniem wodą opadową, przetrwały nawet 100 lat w nienagannym stanie. Pogłębianie wiedzy o stosowanych dawniej zaprawach jest wskazane zarówno w przypadku prac konserwacyjnych, jak i przy wznosze-

¹⁾ Bydgoszcz University of Science and Technology, Faculty Of Civil and Environmental Engineering and Architecture

^{*}) Correspondence address: agora@pbs.edu.pl

deepen the knowledge about historically used mortars both for conservation work and for constructing contemporary buildings that reflect the architectural tradition of the region [1]. This is because the ability to select an appropriate, proven mortar is a fundamental condition for the success of these endeavors. Mortars should have properties similar to the masonry elements and be compatible in chemical, moisture, and physical terms [3, 15, 16]. Meanwhile, modern cement mortars have low water transport capacity and higher mechanical parameters and thermal expansion coefficients compared to stone masonry materials. Such mortars used to construct and joint walls made of soft limestone, can create a barrier for water. When water freezes, it expands and damages the masonry elements. Even greater damage can be caused by water-soluble salts that crystallize in the pores of the stone at the junction with the impermeable mortar. Similar effects are produced by the different thermal expansion coefficient of overly strong mortar in the joint, causing additional shear stresses. As a result, the masonry elements may disintegrate – crumbling, flaking, and cracking.

Materials and methods

The aim of the authors' project, which has been carried out for many years, is to investigate the material, construction, and architectural features of traditional limestone masonry buildings in central Poland. This time, the focus is on the binding materials used in masonry structures. At the current stage, the macroscopic structural features, granulometric composition, and approximate mineralogical composition of the mortar material have been determined, using methods applied in studies of traditional mortars [11, 14]. Detailed research of 25 samples of clay mortar from 19 buildings of various ages (second half of the 19th century to the 1960s), purposes (residential buildings, farm buildings, and barns), and wall texture (regular, layered, wild [17]) were carried out. The mortar samples were obtained from unused, abandoned buildings, most often slated for demolition. The locations of this objects, in relation to the distribution of traditional building materials (stone and clay), are presented in Fig. 1, and the general characteristics are provided in Table 1. Depending on

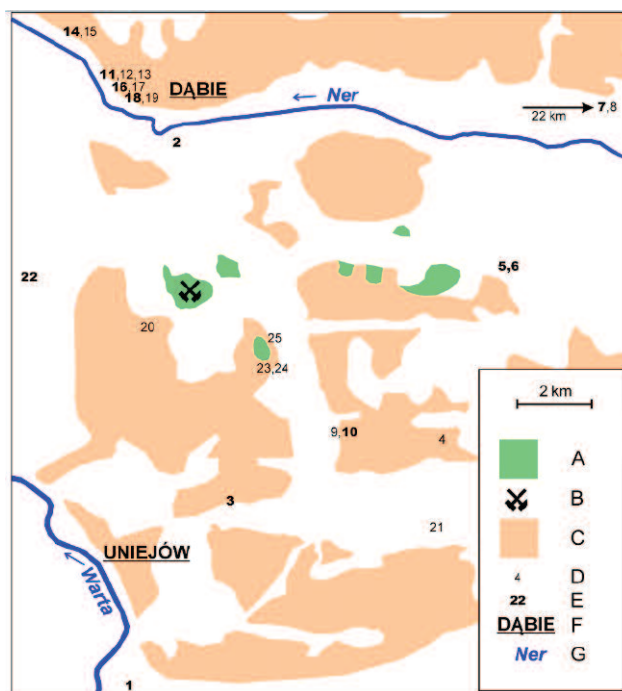


Fig. 1. Location of mortar sampling sites: A – location of shallow soft limestone deposits; B – the largest limestone mine in the region (Roźniatów); C – occurrence of clays in the subsoil in the region; D – location and symbols of samples; E – location and symbols of samples subjected to detailed laboratory tests; F – topographic features – cities; G – topographic features – rivers

Rys. 1. Lokalizacja miejsc pozyskania próbek zaprawy: A – lokalizacja płytko zalegających złóż kamienia wapiennego; B – największa w regionie kopalnia kamienia wapiennego w Roźniatowie; C – występowanie glin w podłożu budowlanym; D – miejsce pobrania oraz symbol próbki; E – miejsce pobrania oraz symbol próbki poddanej szczegółowym badaniom laboratoryjnym; F – obiekty topograficzne – miasta; G – obiekty topograficzne – rzeki

niui obiektów współczesnych, ale nawiązujących do tradycji architektonicznej w regionie [1], ponieważ umiejętność doboru odpowiedniej, sprawdzonej już w praktyce zaprawy, stanowi główny warunek powodzenia tych przedsięwzięć. Zaprawy powinny mieć właściwości zbliżone do elementów murowych i być kompatybilne pod względem chemicznym, wilgotnościowym i wymiarowym [3, 15, 16]. Tymczasem zaprawy współczesne, z dodatkiem cementów o małej zdolności transportu wody oraz o lepszych od materiałów murowych parametrach mechanicznych i współczynniku rozszerzalności cieplnej, zastosowane do wznoszenia i spoinowania murów z lekkiego kamienia wapiennego, tworzą barierę dla wody, która zamarzając, rozsądza elementy murowe. Jeszcze większe zniszczenia mogą powodować sole rozpuszczalne w wodzie, krystalizujące w porach kamienia na styku ze szczelną zaprawą. Podobne skutki wywołuje odmienny współczynnik rozszerzalności zbyt mocnej zaprawy w spoinie, powodując dodatkowe naprężenia ścinające. W rezultacie elementy murowe mogą ulegać wykruszaniu, złuszczeniu i pękaniu.

Materiały i metody badań

Celem autorskiego projektu realizowanego od wielu lat jest zbadanie materiałowych, konstrukcyjnych i architektonicznych cech tradycyjnego budownictwa murowanego z kamienia wapiennego w centralnej Polsce. Tym razem dotyczą one materiałów wiążących w konstrukcjach murowych. Wykorzystując metody stosowane w badaniach tradycyjnych zapraw [11, 14], określono makroskopowe cechy struktury, skład granulometryczny oraz przybliżony skład mineralogiczny materiału zaprawy. Na potrzeby szczegółowych badań przeanalizowano 25 próbek zaprawy glinianej z 19 budynków o różnym wieku (II połowa XIX w. – lata sześćdziesiąte XX w.), przeznaczeniu (budynki mieszkalne, inwentarskie i stodoły) i technologii wykonania muru (mury rzędowe, warstwowe, dzikie [17]). Próbkę zaprawy pozyskiwano z obiektów nieużytkowanych, opuszczonych, najczęściej przeznaczonych do rozbiórki. Ich lokalizację, na tle rozmieszczenia tradycyjnych materiałów budowlanych (kamień i glina) przedstawiono na rysunku 1, a ogólną charakterystykę w tabeli 1.

availability, the mortar samples were taken from the interior, facade, or clay plaster of the wall.

Based on the macroscopic features of the mortars, 12 samples (highlighted in Table 1 in bold) were selected for detailed laboratory studies. For the selected samples, particle size analysis was performed using the sieve-laser method. The mortar samples were powdered and sieved through screens with mesh sizes of 1.0, 2.0, and 4.0 mm. The distribution of particles below 1.0 mm was obtained, using the FRITSCH MICROTEC analyzer [7], in accordance with the standard [10]. Each sample was ultrasonically dispersed for approximately 120 seconds before analysis. The identification of the basic mineral components was carried out using thermal analysis [2], [13]. Samples with an initial mass of 10 g were heated in a muffle furnace at selected temperatures for a minimum of 4 hours, weighed after each stage of calcination and determining the mass loss. The heating temperatures were successively 110, 230, 440, 600, and 950°C, corresponding to the loss of moisture (adsorbed water), dehydration of salts (including gypsum) and clay minerals (i.e., montmorillonite, beidellite, and illite), combustion of organic matter and dehydroxylation of goethite, dehydroxylation of illite and beidellite, and decomposition of carbonates and dehydroxylation of montmorillonite [14, 18].

Table 1. General characteristic of the objects included in the research
Tabela 1. Ogólna charakterystyka obiektów uwzględnionych w badaniach

Sample No/ Nr próbki	Characteristic of the objects/Charakterystyka obiektu					Sample location in masonry wall/ Miejsce pobrania próbki
	village/ lokalizacja/ miejscowość	object type*/ typ*	date/data powstania	wall texture/ rodzaj muru	facade plaster/ tynek zewnętrzny	
1	Balin	M	20. – 30. XX w.	regular/ rzędowy	no	core
2	Domanin	M	1921	regular/ rzędowy	no	core
3	Felicjanów	M	XIX/XX w.	layered/ warstwowy	no	core
4	Grabiszew	M	20. – 30. XX w.	regular/ rzędowy	no	core
5 6	Gusin	M	II poł. XIX w.	layered/ warstwowy	yes yes	face core
7 8	Lucjanów	M	50. – 60. XX w.	layered/wild/ warstwowy/ dziki	no	core core
9 10	Ładawy	M	II poł. XIX w.	layered/wild/ warstwowy/ dziki	yes	core core
11 12 13	Sobótka	I	20. XX w.	regular/ rzędowy	no	core internal plaster
14 15	Sobótka	S	50. XX w.	regular/ rzędowy	no	face core
16 17	Sobótka	M	20. – 30. XX w.	layered/ warstwowy	np	internal plaster face
18 19	Sobótka	M	XIX/XX	layered/ warstwowy	no	core core
20	Stanisławów	M	1934	regular/rzędowy	no	core
21	Światonia	M	II poł. XIX w.	layered/ warstwowy	yes	core
22	Wilamów	R	20. – 30. XX w.	regular/ rzędowy	no	core
23	Zaborów	M	20. – 30. XX w.	regular/ rzędowy	no	core
24	Zaborów	S	20. – 30. XX w.	layered/wild/ warstwowy/ dziki	no	core
25	Zaborów	I	20. – 30. XX w.	layered/ warstwowy	nie	core

* M – residential building/budynek mieszkalny; I – farm building/budynek inwentarski; S – barn/stodoła; R – fire-station/remiza

Próbki zapraw, w zależności od dostępności, były pobierane z wnętrza, lica lub wyprawy muru.

Uwzględniając cechy makroskopowe zapraw, do szczególnych badań laboratoryjnych wytypowano 12 próbek (wyszczególnionych w tabeli 1 pogrubioną czcionką). Wykonano badania składu granulometrycznego wybranych próbek metodą sitowo-laserową. Następnie próbki zapraw sproszkowano i przesiano przez sита o oczku 1,0; 2,0 i 4,0 mm. Rozkład frakcji poniżej 1,0 mm uzyskano za pomocą analizatora FRITSCH MICROTEC [7], zgodnie z normą [10]. Każdą próbkę przed badaniem dyspergowano ultradźwiękowo ok. 120 s. Oznaczenie podstawowych składników mineralnych wykonano metodą termiczną [2, 13], pozwalającą na identyfikację podstawowych składników mineralogicznych. Próbki o początkowej masie 10 g wygrzewano w piecu muflowym w wybranej temperaturze minimum 4 h, ważąc po każdym etapie wyprężania i określając ubytek masy. Temperatura wygrzewania wynosiła kolejno: 110; 230; 440; 600 i 950°C, odpowiadając odpowiednio ubytkowi wilgotności (woda adsorpcyjna), dehydratacji soli (m.in. gipsu) oraz minerałów ilastych (tj. montmorillonitu, beidelitu i illitu), spalaniu części organicznych i dehydroksylacji getytu, dehydroksylacji illitu i beidelitu oraz rozkładowi węglanów i dehydroksylacji montmorillonitu [14, 18].

Results

Macroscopic observations revealed significant variation in the structure of the samples, as illustrated in Photo 1. The main visual differences concern the color, composition, particle size, and porosity of the mortars. The color varies from white to brown. Various amounts of sand and gravel fractions, which are natural components of clays or used as admixtures, were observed. Straw or hay chaff and similar materials were also occasionally noted. These additives were intended to improve certain properties of the clay, such as enhancing workability, accelerating drying, and preventing cracking.

Wyniki

Obserwacje makroskopowe wykazały znaczne zróżnicowanie struktury próbek (fotografia 1). Główne różnice wizualne dotyczą barwy, składu, uziarnienia i porowatości zapraw. Barwa jest zróżnicowana od białej do brązowej. Zaobserwowano zmienną ilość frakcji piaskowych i żwirowych, będących naturalnym składnikiem glin, bądź stosowanych jako domieszki. Zaobserwowano sporadycznie także sieczkę ze słomy lub siana itp. Domieszki te miały poprawiać niektóre właściwości gliny – polepszyć urabialność, przyspieszyć wysychanie i zapobiegać pękaniu.

The granulometric composition of most samples was dominated by clay and silt particles. Their content in individual samples ranged from 31.1% to 79.6% (Table 2). The average proportion of these fractions in the 12 tested mortars was 57.5%. The variation in particle size distributions in individual samples is graphically represented as a particle size curves in Figure 2. The chemical and mineralogical composition was interpreted based on heating tests. The graph of mass losses at various heating temperatures is shown in Figure 3. After drying at 110°C, it was found that the adsorbed water content for air-dry samples exceeded 1% of the mass only in one case (sample no. 16). The mass loss in the temperature range of 110-230°C, corresponding to dehydration processes, was also minimal, ranging from 0.1% to 0.7%, indicating a low content of clay minerals from the montmorillonite, beidellite, and illite groups, as well as gypsum. During heating at 440°C, the mass loss of the samples ranged from 0.4% to 0.9%, suggesting the presence of organic additives and goethite. The presence of goethite, which oxidizes during heating, is also indicated by a noticeable color change of the sample from beige to brick-orange in this temperature range (Photo 2). In the subsequent stage, from 440-600°C, the mass loss caused by the dehydroxylation of kaolinite, beidellite, and illite, as well as the further decomposition of iron compounds (siderite and sulfides), was 0.2% to 0.7%. Mass losses ranging from 0.1% to 4.7% were recorded in the range of 600 – 950°C, corresponding to the temperatures of carbonate decomposition and montmorillonite dehydroxylation. Here, the mass losses averaged below 1.5%, which corresponds to approximately 3.5% carbonate content. Only in samples no. 5 and no. 7 were the measured mass losses around 4.2% to 4.7%, corresponding to a possible 10% calcium carbonate content in the mortars. Considering the low percentage of dehydration in the temperature range of 110-230°C, it can be assumed that the montmorillonite content is minimal.

Combining the results of macroscopic, granulometric, and thermal analyses, it should be noted that samples no. 5 and no. 7 are characterized by the highest content of fractions above 1 mm and carbonate components, which are at least partially concentrated in the larger fractions.

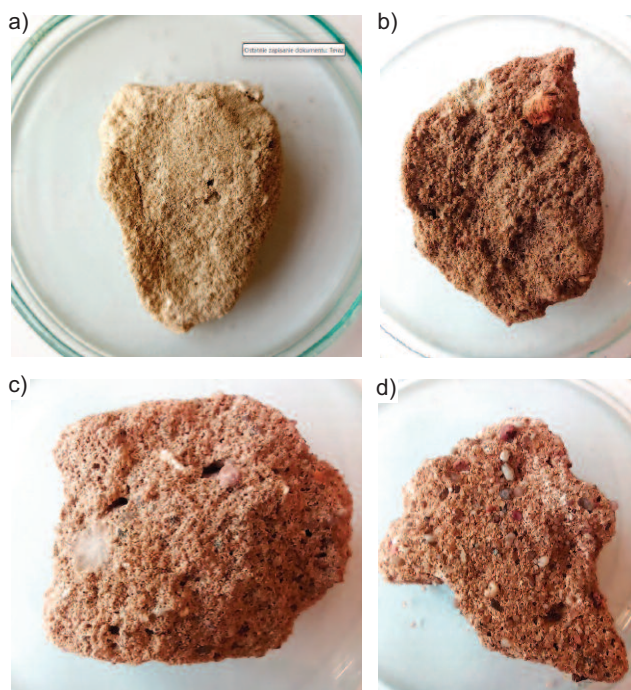


Photo 1. Examples of mortar structures: a) sample No. 5; b) sample No. 6; c) sample No. 7; d) sample No. 8

Fot. 1. Przykładowa struktura zapraw: a) próbka nr 5; b) próbka nr 6; c) próbka nr 7; d) próbka nr 8

Table 2. Participation of particular fractions in the tested mortars [%]

Tabela 2. Udział poszczególnych frakcji w badanych zaprawach [%]

Sample No/Nr próbki	Percentage of fractions/Udział frakcji [%]		
	<0,063	0,063 – 1,0	>1,0
1	71,5	28,5	0,0
2	91,8	8,2	0,0
3	79,6	20,4	0,0
5	38,0	45,1	16,9
6	61,7	38,3	0,0
7	31,1	43,7	25,2
10	56,4	43,6	0,0
11	64,7	35,3	0,0
14	36,3	56,0	7,7
16	68,5	31,5	0,0
18	52,8	47,2	0,0
22	37,4	61,7	0,9

W składzie granulometrycznym większości próbek przeważały cząstki ilowe i pyłowe. Ich zawartość w poszczególnych próbkach wynosiła 31,1 – 79,6% (tabela 2). Średni udział tych frakcji w badanych 12 zaprawach wyniósł 57,5%. Zróżnicowanie rozkładu wielkości cząstek w poszczególnych próbkach przedstawiono graficznie w formie krzywych uziarnienia na rysunku 2. Skład chemiczny i mineralogiczny wyinterpretowano na podstawie badań prażenia. Wykres ubytku masy przy wygrzewaniu w różnej temperaturze przedstawia rysunek 3. Po suszeniu w 110°C stwierdzono, że zawartość wody adsorpcyjnej w próbkach w stanie powietrzno-suchym przekroczyła 1% masy tylko w przypadku próbki nr 16. Ubytek masy w temperaturze 110 – 230°C,

odpowiadającej procesom dehydratacji, był także nieznaczny i wynosił 0,1 – 0,7%, co świadczy o niewielkiej zawartości minerałów ilastych z grupy montmorillonitu, beidelitu i illitu oraz gipsu. Podczas wyprażania w temperaturze 440°C ubytek masy próbek wynosił 0,4 – 0,9%, co może świadczyć o obecności domieszki organicznych oraz domieszki getytu, utleniającego się podczas wyprażania, o czym świadczy wyraźna zmiana barwy próbki z beżowej na ceglano-pomarańczową (fotografia 2). Natomiast ubytek masy spowodowany dehydroksylacją kaolinitu, beidelitu i illitu w temperaturze 440 – 600°C oraz dalszym rozkładem związków żelaza (syderytu i siarczków) wynosił 0,2 – 0,7%, a straty masy rzędu 0,1 – 4,7% zanotowano w temperaturze 600 – 950°C, odpowiadającej rozkładowi węglanów i dehydroksylacji montmorillonitu. Ubytki masy kształtowały się przeciętnie na poziomie nieprzekraczającym 1,5%, co odpowiada ok. 3,5% zawartości węglanów. Je-

dynie w próbkach nr 5 i nr 7 zmierzone straty masy są na poziomie ok. 4,2 – 4,7%, co odpowiada zawartości węglanu wapnia w zaprawach 10%. Jednocześnie uwzględniając niewielki udział procentowy dehydratacji w temperaturze 110 – 230°C można przyjąć, że zawartość montmorillonitu jest nieznaczna.

Na podstawie wyników badań makroskopowych, granulometrycznych i termicznych stwierdzono, że próbki nr 5 i nr 7 cechują się jednocześnie największą zawartością frakcji powyżej 1 mm i składników węglanowych, które przynajmniej częściowo skoncentrowane są w większych frakcjach.

Conclusions

Both macroscopic studies of the structure of clay mortar samples and laboratory determinations of particle size and mineral composition revealed significant variability in the material used to join stone elements in the studied region. This variability is likely due to the lithological diversity of the clay raw material and the presence of additives such as sand, gravel, or organic matter. The particle size analysis showed a high content of clay and silt fractions. However, the slight mass loss during heating up to 950°C indicates the predominant presence of quartz and feldspar pelites with a low content of clay minerals, which should be confirmed in the future with derivatographic or X-ray structural studies. Two of the samples showed a few percent calcium carbonate content, partially concentrated in the sand fraction. However, these were exceptions. In most cases, the calcium carbonate content can be considered insignificant or low (up to 1.5%). It is also difficult to assess whether it was a natural component of the clay used or was added to improve the binding properties of the mortar during its preparation.

The conducted tests do not allow for drawing definitive conclusions regarding regularities related to the age of the object or the type of walls. The results of grain size and mineral composition analyses indicate only that samples from one location (Sobótka) are similar and differ from the others, which would suggest the use of nearby raw material deposits. However, there are too few observations to draw statistically confirmed conclusions.

With proper use and protection from uncontrolled rainwater flooding, walls made of soft limestone with clay mortar show

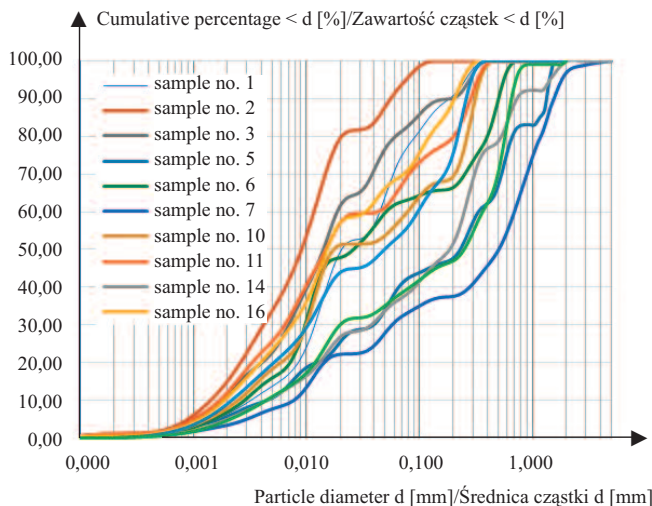


Fig. 2. Particle size distributions curves of the tested mortar samples
Rys. 2. Krzywe granulometryczne badanych próbek zapraw

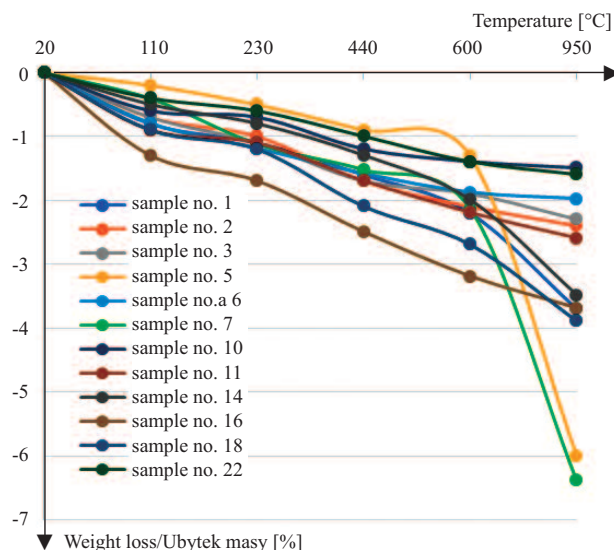


Fig. 3. Weight loss of samples during heating at selected temperature [%]
Rys. 3. Ubytek masy próbek podczas prażenia w wybranej temperaturze [%]



Photo 2. Color change of samples after heating at temperature 440°C
Fot. 2. Zmiana barwy próbek po wyprażeniu w temperaturze 440°C

statistically confirmed conclusions.

zują jedynie, że próbki z jednej lokalizacji (Sobótka) są zbliżone i różnią się od pozostałych, co świadczyłoby o korzystaniu z pobliskich złóż surowca. Niemniej na wyciągnięcie potwierdzonych statystycznie wniosków jest zbyt mało danych.

Podsumowanie

Zarówno makroskopowe badania struktury próbek zapraw glinianych, jak i oznaczenia laboratoryjne uziarnienia oraz składu mineralicznego wykazały znaczne zróżnicowanie materiału stosowanego do łączenia elementów kamiennych w badanym rejonie. Wynika to zapewne z różnorodności litologicznej surowca gliniastego, jak i domieszek w postaci piasku czy żwiru lub domieszek pochodzenia organicznego. W składzie granulometrycznym stwierdzono dużą zawartość frakcji ilowej i pyłowej. Natomiast niewielki ubytek masy podczas wyprażenia do 950°C wskazuje na główny udział pelitu kwarcowego i skaleniowego przy małej zawartości minerałów ilastych, co należałoby w przyszłości potwierdzić badaniami derywatograficznymi lub rentgenostrukturalnymi. Dwie z badanych próbek wykazały kilkuprocentową zawartość węgla wapnia, częściowo skoncentrowanego w ziarnach frakcji piaskowej. Stanowiły jednak wyjątek. W większości przypadków udział węgla wapnia można uznać za nieistotny lub niewielki (do 1,5%). Trudno zresztą ocenić, czy był naturalnym składnikiem użytej gliny czy też został dodany

do celu polepszania właściwości wiążących zaprawy już na etapie jej urabiania.

Przeprowadzone oznaczenia, w dużej mierze mające charakter pilotażowy, nie pozwalają na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków związanych z wiekiem obiektu czy rodzajem murów. Wyniki badań składu ziarnowego i mineralicznego wskazu-

significant durability. This may be partly due to the very careful construction of the walls, especially on the facing side. The properties of clay mortars as a binding material, regardless of the variability resulting from the composition of the clays and possible additives, show compatibility with the soft limestone masonry material.

Received: 04.12.2023

Revised: 31.05.2024

Przy prawidłowym użytkowaniu i zabezpieczeniu przed niekontrolowanym zalewaniem przez wodę opadową mury z opoki na zaprawie glinianej wykazują dużą trwałość. Częściowo może to wynikać z bardzo starannego wykonywania murów od strony licowej. Właściwości zapraw glinianych jako materiału wiążącego, niezależnie od zróżnicowania wynikającego ze składu glin oraz ewentualnych domieszek, wykazują kompatybilność z materiałem mурowym z opoki.

Wpłynął do redakcji: 04.12.2023 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 31.05.2024 r.

Literature

- [1] Ashurst J. Mortars for stone buildings. Conservation of building and decorative stone, Routledge. 1990: 78 – 96.
- [2] Bakolas A, Biscontin G, Contardi V, Franceschi E, Moropoulou ., Palazzi D, Zendri E. Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice. *Thermochimica Acta*. 1995, 269: 817 – 828.
- [3] Domasłowski W, Kęsy-Lewandowska M, Łukaszewicz J. W. Konserwacja murów ceglanych, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 1998.
- [4] Gorączko M, Gorączko A. Vernacular architecture and traditional rural landscape in new socio-economic realities – a case study from Central Poland. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*. 2015; DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/bog-2015-0034>.
- [5] Gorączko A, Gorączko M. Wykorzystanie lokalnego kamienia budowlanego w świetle przepisów. *Materiały Budowlane*. 2016, 8: 61 – 63.
- [6] Gorączko A, Gorączko M. Results and Conclusions of Laboratory Characteristics of Soft Limestone from Central Poland as a Construction Material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, 471, No. 3, p. 032021). IOP Publishing. DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/3/032021>.
- [7] Gorączko A, Topoliński S. Particle size distribution of natural clayey soils: A discussion on the use of laser diffraction analysis (LDA). *Geosciences*. 2020; DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences10020055>.
- [8] Gleize PJP, Motta EV, Silva DA, Roman HR. Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil) Cement & Concrete Composites. 2009; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.02.013>.
- [9] Isebaert A, Van Parys L, Cnudde V. Composition and compatibility requirements of mineral repair mortars for stone—A review. *Construction and Building Materials*. 2014; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.020>.
- [10] ISO 13320:2020 Particle Size Analysis – Laser Diffraction Methods, 2020.
- [11] Klimek B. Metody badań zapraw historycznych – problematyka konserwatorska. *Budownictwo i Architektura*. 2015;14 (2), 63 – 69.
- [12] Meimaroglou N, Mouzakis H. Mechanical properties of three-leaf masonry walls constructed with natural stones and mud mortar. *Engineering Structures*. 2018; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.015>.
- [13] Moropoulou A, Bakolas A, Bisbikou K. Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies. *Thermochimica Acta*. 1995; 269: 743 – 753.
- [14] Skibiński S. Badania materiałoznawcze kamiennych tworzyw architektonicznych. *Ochrona Zabytków*. 1988, 41/2 (161): 94 – 109.
- [15] Skibiński S. Udział soli rozpuszczalnych w wodzie w procesach niszczenia kamiennych obiektów zabytkowych oraz konserwatorskie sposoby ograniczania ich działania. *Ochrona Zabytków*. 1985, 38/3-4 (150-151): 244-258.
- [16] Terlikowski W, Sobczyńska E, Gregoriou-Szczepaniak M. Ryzyko zastosowania materiału zastępczego w procesie rekonstrukcji zabytkowych murów kamiennych na zaprawie glinianej. *Materiały Budowlane*. 2022; DOI: 10.15199/33.2022.11.25.
- [17] Wyganowski Z, Próchnicki P. *Budynki z kamienia*. Arkady, Warszawa, 1958.
- [18] Wyrwicki R. *Analiza derywatograficzna skał ilastych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1988.