

Badania historycznych zapraw z Baszty Gotyckiej w Lublinie

Beata Klimek

<https://orcid.org/0000-0002-6967-9766>

b.klimek@pollub.pl

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska

Streszczenie: Baszta Półokrągła, nazywana także Basztą Gotycką jest jedną z najstarszych budowli Lublina. Została zbudowana w XIV wieku z kamienia i cegły. Była częścią murów obronnych wzniesionych przez króla Kazimierza Wielkiego. W trakcie współczesnie wykonywanych prac restauratorskich, pobrano oryginalne materiały: zaprawy. W artykule przedstawiono charakterystykę mineralogiczną, chemiczną zapraw. Metodą analityczną obejmowała: jakościową analizę mineralogiczną całej próbki metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD); badania morfologiczne z pierwiastkową oceną i mikroanalizą spoiwa metodą skaningowej mikroskopii elektronowej i spektroskopię rentgenowską z dyspersją energii (SEM-EDS). Wykonano oznaczenie pozostałości części nierozpuszczalnych w kwasie solnym. Metodologia ta pozwoliła na określenie składu zapraw: badania podciągania nasiąkliwości w wodzie po 24 godzinach zanurzenia. Stwierdzono, że badane zaprawy mają podobną budowę mineralogiczną, lecz nieco różnią się udziałem poszczególnych składników, przede wszystkim frakcji kruszywa. Próbki składają się głównie z kwarcu i kalcytu i dodatkowo krzemianów. Ponadto wykazano, że spoiwo wapienne zapraw ma charakter mikrokryształiczny. Do produkcji historycznych zapraw jako kruszywo wykorzystano głównie piasek kwarcowy i minerały z grupy skaleniowej i krzemianowej.

Słowa kluczowe: Baszta Gotycka, zaprawy historyczne, badania, Lublin.

Wprowadzenie

Baszta jest dziełem obronnym wybudowanym w linii przebiegu muru obronnego Starego Miasta w Lublinie. Obecnie znajduje się w zabudowie ścisłej. Powstała na przełomie XV i XVI wieku. Została wybudowana z opoki wapienistej na zaprawie wapienno-piaskowej i oblicowana ceglami. Jej wnętrze stanowiła drewniana infrastruktura umożliwiająca dostęp do otworów strzelniczych. Znajdowała się pod opieką cechu kupieckiego i szewców. Od tych ostatnich zwana była również Basztą Szewską. Była częścią murów obronnych wzniesionych przez króla Kazimierza Wielkiego. Drewniane pomosty umożliwiały obrońcom dostęp do strzelnic. W okresie średniowiecza we wnętrzu baszty znajdował się „cyrkacz świec” – wyrabiano tu grube świece gromniczne, używając do tego lin konopnych, po których gorący воск skapywał do form. Baszta została zrekonstruowana w latach 80-tych XX wieku. Podczas remontu generalnego w 1993 roku odtworzono przypuszczalną formę zwieńczenia budowli [1, 2]. Od strony południowo wschodnie do baszty dobudowane są kamienice ulicy Królewskiej (oficyna kamienicy Królewska 6). Od strony północno zachodniej baszta stoi na terenie otwartym posesji przy ulicy Jezuickiej. Reprezentuje tzw. typ „otwarty” od strony Starego Miasta. Wybudowana jest na planie półkola, o szerokości 7,80 m i głębokości 5,60 m, że skrzydłami światła otworu zamykającymi je do szerokości 2,70 m. Wysokość ścian historycznych od strony podwórza posesji Kowalska 6 wynosi ok 10 m. Grubość muru baszty w przyziemiu wynosi ok 2,40 m. Przekrój muru zwęża się ku górze obiektu. W posadowieniu baszty widoczna jest różnica poziomów wynikająca z naturalnego ukształtowania terenu, pierwotnej skarpy, że spadkiem w kierunku ulicy Królewskiej. Przyjmuje się że fundament obiektu sięga do 2 m poniżej poziomu podwórka kamienicy Królewska 6. Od strony ulicy Jezuickiej światło otwarcia baszty przegrodzone jest murem grubości 0,70 m i wysokości od poziomu gruntu 2 m.

Bryła baszty posiada formę ściętego walca. Nakryta jest dachem stożkowo namiotowym. W wysokości baszty wyróżnia się cztery kondygnacje. Podział kondygnacji zaznaczony jest na murze wewnątrz baszty poprzez odsadzki. Półkoliste ściany kondygnacji pierwszej i drugiej są jednolite. W kondygnacji trzeciej i czwartej znajdują się otwory strzelnicze, przy czym w kondygnacji trzeciej otwory są cztery, oraz dwa prawdopodobne przejścia na galerię nieistniejącego muru obronnego, w kondygnacji czwartej otworów strzelniczych jest pięć.

Mur ceglany kondygnacji trzeciej jest regularny i składa się z ośmiu rzędów cegieł przewiązanych zaprawą wapienną. Tworzy rodzaj wińca. Mur ceglany rytmicznie przechodzi z lica ściany w glyfy otworów strzelniczych. Wysklepki otworów strzelniczych są tynkowane tynkiem wapiennym od granicy występowania muru ceglanego. Ponad otworami pojawia się pas o szerokości jednej cegły, który stanowi wzmocnienie odsadzki. Kondygnacja czwarta to mur licowany cegłą ceramiczną po stronie zewnętrznej oraz po stronie wewnętrznej wymurowany z regularnych ciosów kamienia łączonych zaprawą wapienną. Cegła występuje tutaj jako uzupełnienie, lub częściowo w konstrukcji wysklepień glyfów otworów strzelniczych. Sklepienia otworów strzelniczych nie są tynkowane. W ceglanej elewacji zewnętrznej podziały zaznaczone są w postaci gzymsów. W podziale kondygnacji pierwszej i drugiej zaznaczony jest rytmiczny gzyms ceglany sztorcowy, gdzie cegły układane są „na kąt”. W podziale kondygnacji drugiej i trzeciej gzymsy oznaczone są w sposób płaski w licu muru dwoma pasami cegieł w układzie główkowym, przy czym jeden pas od drugiego oddzielony jest czterema rzędami cegieł w układzie wozówkowym. Kondygnacja trzecia i czwarta w licu elewacji baszty oznaczona jest gzymsem wklęsłym o wysokości dwóch cegieł w układzie wozówkowym. Gzyms ten nie jest podkuty. Cegły wewnątrz pasa gzymsu posiadają pełen spiek.

Baszta zbudowana jest z opoki wapnistej oraz cegły. W kondygnacji pierwszej i drugiej mur konstruowany jest na rumoszu kamiennym łączonym zaprawą z okładzinami po stronie zewnętrznej cegłą ceramiczną, po stronie wewnętrznej łamaną opoką. W kondygnacji trzeciej trzon muru pozostaje nie zmieniony, podobnie jak okładzina ceramiczna strony zewnętrznej. po stronie wewnętrznej natomiast łamany kamień okładziny ustępuje regularnym ciosom opoki murowi ceglanemu.



Ryc. 1. Elewacja północna baszty



Ryc. 2. Elewacja wschodnia baszty

Elewacja baszty posiada dekoracje architektoniczną. Obok wymienionych gzymsów, w kondygnacji czwartej w lico ściany znajdują się blendy. Blendy w mniej więcej równych odstępach występują w ilości pięć z domniemaniem blendy szóstej (prawdopodobnie skrywa się ona w budynku oficyny). Obecnie w elewacji baszty widoczne są trzy blendy w całości oraz fragment blendy czwartej ponad dachem oficyny. Blenda piąta w całości znajduje się na poddaszu oficyny kamienicy przy ulicy Królewska 6. Blenda skrajna od strony północno zachodniej lica baszty zamknięta jest łukiem pełnym. Pozostałe cztery blendy elewacji zamknięte są łukiem „ośli grzbiet”. Głębokość blend w murze wynosi ok. 0,1 m. Blendy posiadają podobną wysokość ok. 2,10 m oraz szerokość ok. 0,9 m. W niewidocznej blendzie piątej, skrytej na poddaszu oficyny zachowały się warstwy tynku w ilości czterech warstw. Zaznaczyć należy że blendy zamknięte łukiem „ośli grzbiet” występują jedynie do krawędzi gzymsu wklęsłego, co sugeruje jednolitość założenia.

Obok dekoracji architektonicznej masę ceglanej elewacji rozbijają wykonane w kamieniu strzelnice kluczowe, nadające obiektowi militarny charakter. W elewacji na poziomie kondygnacji trzeciej obecnie widoczne są dwie strzelnice kluczowe, w elewacji kondygnacji czwartej widoczne są trzy strzelnice, czwarta strzelnica skryta jest pod dachem oficyny kamienicy przy ul. Królewska 6. Kamienne klucze strzelnic kondygnacji trzeciej zachowane są w pełnej formie.



Ryc. 3. Fragment widoku kondygnacji trzeciej z ceglany m wieńcem w pasie otworów strzelniczych



Ryc. 4. Widok elewacji południowej z dekoracją architektoniczną blend, gzymsu wklęsłego oraz kamiennych kluczy strzelnic

W kondygnacji czwartej pełną formę posiada jedynie klucz strzelniczy trzeciej i czwartej. Otwór strzelniczy pierwszy i drugi posiadają oprawę kamienną w postaci szczytkowej. Kamienne oprawy strzelnic umieszczone są w gniazdach wykutych w elewacji ceglanej. Strzelnice kondygnacji czwartej wraz z blendami zamkniętymi łukiem „ośli grzbiet” stanowią rytmiczną dekorację rozbijającą masę ceglanej elewacji.

Od strony północno zachodniej do baszty dostawiona jest rekonstrukcja muru obronnego. Mur wystawiony jest w linii przebiegu historycznego muru. Konstrukcja muru wykonana jest według przesłanek historycznych. Wnętrze muru zbudowane jest z rumoszu opoki wapiennej i kamienia polnego łączonych zaprawą wapienną. Lico po obu stronach muru wykonane jest z okładziny cegły ceramicznej w rozmiarze średniowiecznym. Cegła ta stanowi również przykrycie muru. Od strony północno-zachodniej mur nie jest licowany ukazując jego

konstrukcję. Mur zrekonstruowany jest do wysokości 2 metrów ponad poziom podwórza posesji przy ulicy Jezuickiej. Szerokość rekonstrukcji wynosi 2 metry, a długość 2,50 m.

Otoczenie baszty od strony posesji przy ulicy Jezuickiej zaaranżowane jest do ekspozycji obiektu. Od strony południowej, to jest od strony podwórza posesji kamienicy przy ul. Królewskiej baszta do połowy elewacji przysłonięta jest oficyną kamienicy przy ulicy Królewskiej 6 oraz do wysokości gzymsu podziału kondygnacji drugiej i trzeciej tynkowanym murem [3, 4].

Materiały i metody

Badania i charakterystyka zabytkowych zapraw jest istotnym narzędziem identyfikacji pochodzenia składników, służy również do pozyskiwania informacji o historycznej ewolucji zabytku [5, 6, 7, 8]. Właściwości techniczne zapraw są zależne od surowców [9].

Skład zapraw (charakter składników) i tekstura (zależna od składu masy i rozkładu uziarnienia) są to najbardziej istotne cechy w kwestiach kompatybilności technicznej, pomiędzy materiałem historycznym, a nowo projektowanym [10]. Produkcja zapraw jest złożonym procesem, obejmującym znajomość materiałów i technologii [5]. Dlatego aby zdobyć niezbędne informacje o historycznych zaprawach wykonujemy badania, w których mają zastosowanie metody chemiczne, mineralogiczne, petrograficzne [6, 7].

Uzyskane wyniki mogą być stosowane w celu pozyskania informacji dotyczących charakterystyki spoiwa, kruszywa i ewentualnych dodatków. W wielu przypadkach ilość dostępnych próbek i ich wielkość nie jest wystarczająca do wykonania badań fizyko-mechanicznych [5, 6].

Ponieważ pobieranie próbek odbywa się zgodnie z zasadą minimalnego uszkodzenia zabytkowej substancji, zwykle za pomocą dłuta i małego młotka zamiast wiercenia rdzeniowego [11].



Próbka Nr 1/BT



Próbka Nr 2/SC



Próbka Nr 3/BS



Próbka Nr 4/CT

Ryc. 5. Próbkę zapraw pobrane baszty: Próbka Nr 1/BT – (tynk z blendy), Próbka Nr 2/SC – (spoina lico muru ceglanego), Próbka Nr 3/BS – (spoina z blendy), Próbka Nr 4/CT – (tynk z lica muru ceglanego)

W ramach prowadzonych badań pobrano pięć reprezentatywnych próbek z różnych miejsc muru. Procedury pobierania próbek przeprowadzone są z wielką starannością pod nadzorem personelu konserwatorskiego, tak by pobrane próbki zaspokoili potrzeby planowanych badań analitycznych (Ryc. 5).

Obserwacja makroskopowa próbek (Ryc. 5) wykazywała jednorodną teksturę i skład. Aby uzyskać kompletny zestaw informacji, próbki badano przy użyciu różnych metod i technik instrumentalnych. Pierwszym krokiem była analiza chemiczna przez atak rozcieńczonym gorącym kwasem hydrochlorowym, w celu określenia ilości pozostałości nierozpuszczalnych w kwasie solnym [12, 13].

Przed analizami dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) próbki suszono w temperaturze 60°C, a następnie rozdrabniano i sproszkowano w młynku agatowym. XRD pozwala na wykrycie faz krystalicznych obecnych w zaprawach, gdy ich stężenie nie jest bardzo niskie, zwykle poniżej 3–5% [14, 15, 16].

Dyfrakcja rentgenowska została wykonana przy użyciu dyfraktometru Philips X,PRO typ PW 3040/60, dyfraktometr był wyposażony w lampę rentgenowską z antykatomą miedziową. Warunki pracy były następujące: krok 0,01 czas zliczeń 1,2 s, zakres pomiarowy 5°–76°, 2Theta.

Skaningowa analiza elektronowa służy do oceny kształtu i wielkości cząstek, morfologii i wzajemnych relacji między składnikami zaprawy, obecności wtrąceń, pęknięć, wypełnienia pustych przestrzeni oraz kształtu porów. Spektrometr dyspersyjny (X-ray) (EDS) w połączeniu ze skaningowym mikroskopem elektronowym pozwala na szybką analizę składu pierwiastkowego. Reprezentatywność próbki ma kluczowe znaczenie dla interpretacji mikrostruktury obserwowanej w bardzo małej skali [17].

Obserwacje skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i energodispersyjną mikroanalizę rentgenowską z zastosowaniem mikroskopy elektronowej (SEM–EDS) przeprowadzono w następujących warunkach: przekroje poprzeczne nie były napylane. Oznaczenie wykonano za pomocą mikroskopy elektronowej LINK–ISIS sprzężonej z mikroskopem elektronowym JSM–6300 firmy JEOL (napięcie przyspieszające: 20 kV prąd wiązki: 10–9 A, czas trwania analiz: punkowej – 100s, z mikro obszaru – 15 min). Wszystkie Analizy wykonano w Laboratorium WBiA PL.

Wyniki badań

Chemiczne badanie składu zapraw

Na potrzeby wykonania analizy składu masowego i jakościowego zapraw, zważono i wysuszono do stałej masy w temperaturze 105°C. Następnie naważki trawiono dwie minuty kwasem solnym. Po przemyciu i uzyskaniu odczynu obojętnego suszono w temperaturze 60°C do uzyskania stałej masy.

Opis makroskopowy próbek, przebieg reakcji z HCl, stan zapraw po zakończeniu reakcji przedstawia (Tabela 1), przybliżony, masowy skład podano w (Tabela 2).

Tabela 1. Analiza składu masowego i jakościowego zapraw

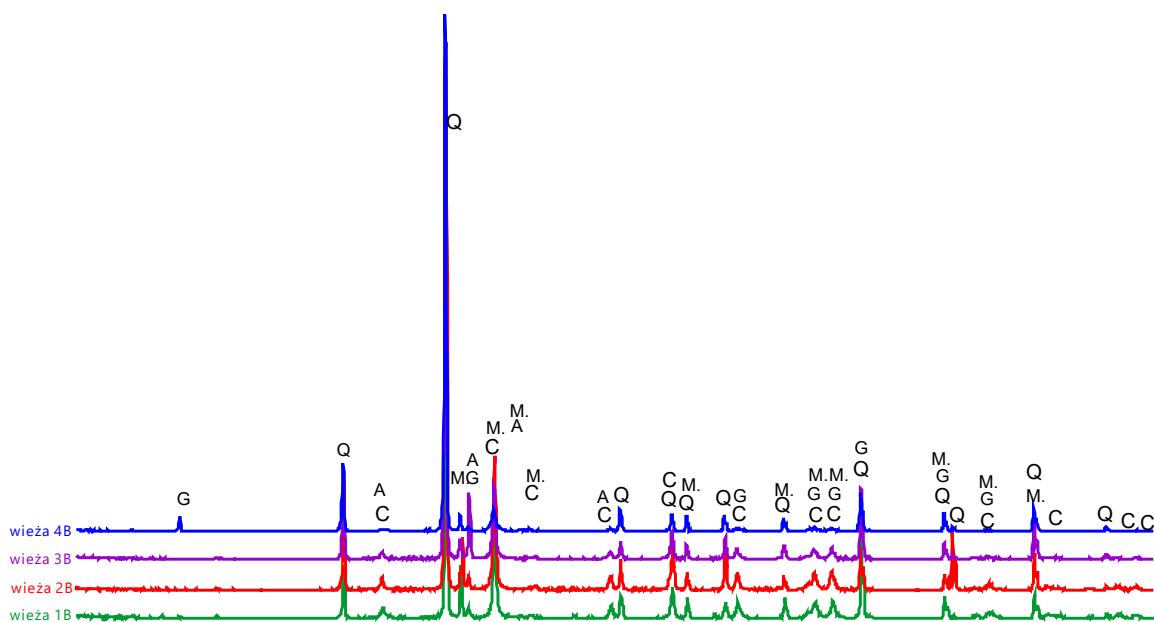
Numer próbki	Opis makroskopowy	Reakcja z 2M HCl		Nasiąkliwość w wodzie w %
		Intensywność	Stan zaprawy	
Nr 4	zaprawa barwy jasnobieżowej, niezbyt mocna	burzliwa reakcja z wydzieleniem CO ₂	rozpadła się	20,6
Nr 1	zaprawa barwy jasnobieżowej, dość mocna	burzliwa reakcja z wydzieleniem CO ₂	rozpadła się	18,2

Tabela 2. Analiza składu masowego i jakościowego zapraw

nr próbki	spoiwo	% ilość części nierozpuszczalnych w HCl			% ilość węglanów	główny składnik wypełniacza	inne składniki
		razem	w tym				
			frakcja pelitowa	kruszywo kwarcowe			
Nr 4	wapienne	58,0	4,5	53,5	42,0*	kwarc o różnej wielkości ziaren i różnym stopniu obtoczenia	skalenie, niezidentyfikowane minerały ciemne, okruszki ceramiczne, włókna drewniane, białe i beżowe materiały ilaste
Nr 1	wapienne	38,5	8,5	30,0	61,5*	kwarc o różnej wielkości ziaren, z przewagą średnioziarnistego, różnie obtoczony skalenie, niezidentyfikowane minerały ciemne, białe i beżowe	skalenie, niezidentyfikowane minerały ciemne, białe i beżowe materiały ilaste

Próbki Nr 1/BT i Nr 4/CT to zaprawy wapienne wykonane z niewielkim dodatkiem gliny. Kruszywem jest kopalny, niewyselekcjonowany piasek, któremu towarzyszą w złożu minerały – produkty wietrzenia skał głębinowych oraz tłuczeń wapienny. Ponieważ spoiwo wapienne i kruszywo (tłuczony wapień) to ta sama substancja: węglan wapnia (CaCO_3), metodami chemicznymi nie można ich ilościowo rozróżnić. Można jedynie stwierdzić, że zaprawa próbki Nr 1/BT jest słabsza, łatwiej ją przełamać, charakteryzuje ją bardzo wysoka wodochłonność (20,6%), potwierdzająca udział wapienia w kruszywie. Zaprawa próbki Nr 4/CT jest znacznie mocniejsza, obfitsza w spoiwo, o wysokiej nasiąkliwości w wodzie wynoszącej 18,2%. Obie zaprawy są zapewne oryginalnymi materiałami.

Do określenia składu mineralogicznego spoiwa i wypełniacza – składników mineralogicznych lub faz krystalicznych, zastosowano technikę dyfrakcji rentgenowskiej. Rentgenowskie wzorce dyfrakcji analizowanych próbek ujawniają, że zaprawy są jednorodne mineralogicznie (Ryc. 4). Kwarc jest fazą wszechobecną, dominującą, występuje we wszystkich próbkach i reprezentuje ziarna wypełniacza. Kalcyt jest kolejnym ważnym składnikiem zapraw i stanowi składnik spoiwa. Podrzednymi komponentami zapraw są minerały z grupy skaleniowej i krzemianowej. Są one głównie reprezentowane przez mikroklin, a także mniej powszechne albit. Składniki te podobnie jak kwarc stanowią ziarna wypełniacza (Tab. 3). Nie stwierdzono występowania wodorotlenku wapnia, co oznacza, że reakcja karbonatyzacji zaszła w pełni. Stwierdzono również brak obecności jakichkolwiek związków typowych dla spoiwa cementowego.



Ryc. 6. Reprezentatywne wzorce XRD

Tabela 3. Podsumowanie wyników analizy XRD badanych próbek

Sample	C	Q	M	A	G
Nr 1/BT	++	+++	+	t	-
Nr 2/SC	++	+++	+	t	-
Nr 3/BS	++	+++	+	t	-
Nr 4/CT	++	+++	+	+	+

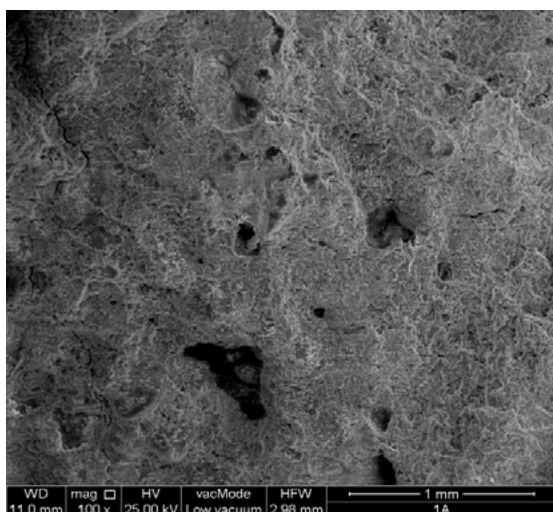
C: calcite; Q: quartz; M: microcline; A: albite; G: gypsum;
 +++: dominant; ++: present; +: small amounts; t: traces; -: not detected

W próbce Nr 4/CS w analizie rentgenowskiej stwierdzono niewielkie ilości gipsu (Tab. 3). W analizie skaningowej w dużym powiększeniu minerał ten występuje w postaci monokryształów o kształcie zbliżonym do wielkości klinów 20–30 μm , przypuszczalnie jest to gips. Związek ten mógłby wynikać z powolnej reakcji zachodzącej pomiędzy tynkiem a kwaśnym deszczem lub zanieczyszczeniem lepiszcza lub kruszywa. Gips w próbce Nr 4/CS może również wskazywać na wpływ związków siarki z zanieczyszczeń ze spalin samochodowych.

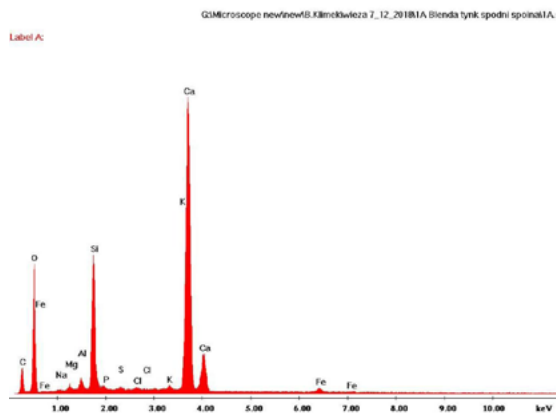
Analiza w mikroskopie skaningowym (SEM) i mikroanaliza rentgenowska (EDS)

Analiza SEM dostarczyła cennych informacji o składnikach zaprawy a mianowicie: określiła relacje między spoiwem a kruszywem, umożliwiła obserwację ich form, rozmiarów, tekstur i rozmieszczenie w zaprawach. Fotomikrografie SEM zostały zarejestrowane przy powiększeniach 100 i 200, są pokazane odpowiednio (Ryc. 7, Ryc. 9, Ryc. 11, Ryc. 13).

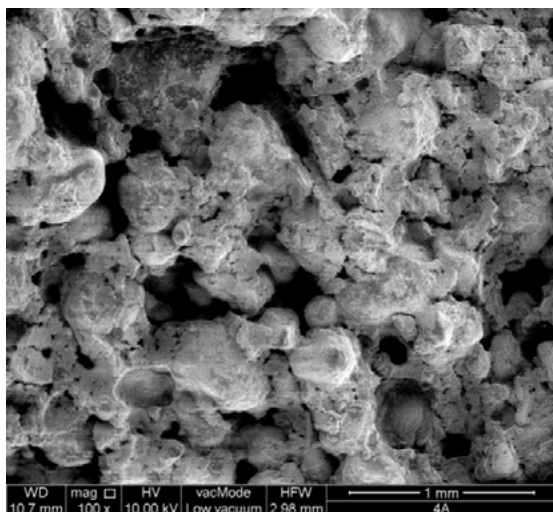
Zestawienie zdjęć skaningowych (SEM) próbek spoin i tynków z baszty przy ulicy Jezuickiej w Lublinie. Analiza EDS w mikroobszarze w uśrednionych wartościach wykazuje skład pierwiastkowy badanego miejsca.



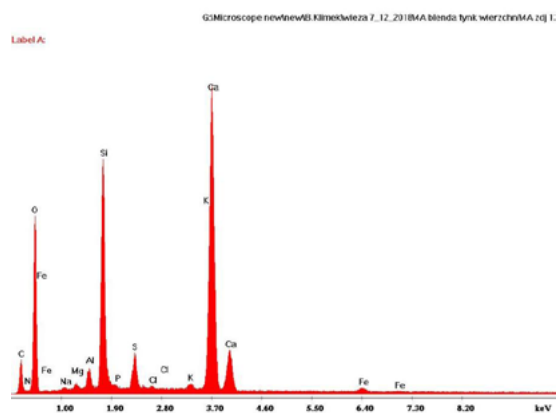
Ryc. 7. Obraz przełamu próbki Nr 1/BT (SEM 100x)



Ryc. 8. Widmo energetyczne analizy EDS próbki Nr 1/BT



Ryc. 9. Obraz przełamu próbki Nr 4/CT (SEM 100x)

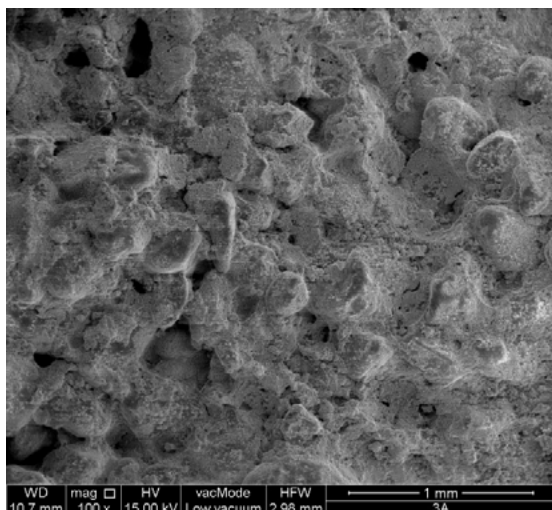


Ryc. 10. Widmo energetyczne analizy EDS próbki Nr 4/CT

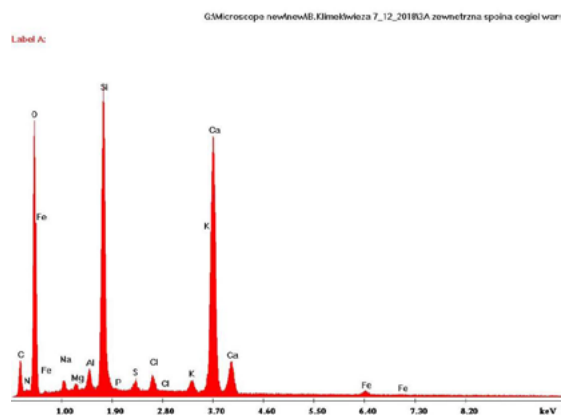
Tynk 4/CT jest bardziej porowaty, niż tynk 1/BT, w którym mikrostruktura jest bardziej zwarta. Przy czym w badaniach makroskopowych powierzchnia zewnętrzna obu rodzajów tynków jest stosunkowo gładka. W tynku 1/BT spoiwo jest drobne, wypełnione małymi porami, z pojedynczymi odsłoniętymi ziarnami piasku kwarcowego (Ryc. 7). Natomiast w tynku 4/CT widoczne są odsłonięte ziarna kruszywa jedynie w „słabo” obtoczone spoiwem, z licznymi porami (Ryc. 9).

Można stwierdzić, że kruchość tynku 4/CT wynika z jego porowatości oraz pustych przestrzeni pomiędzy ziarnami kruszywa, a spoiwem, co ułatwia przenikanie wody opadowej.

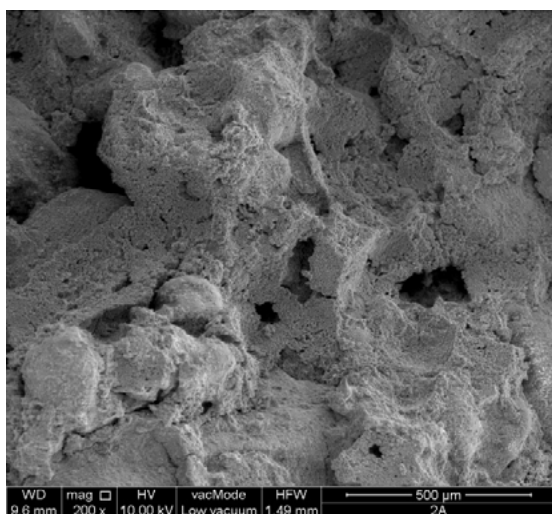
Spoivo wapienne między ziarnami piasku jest porowate, z licznymi pustkami, w wielu miejscach nie przylega do ziaren piasku (Ryc. 9).



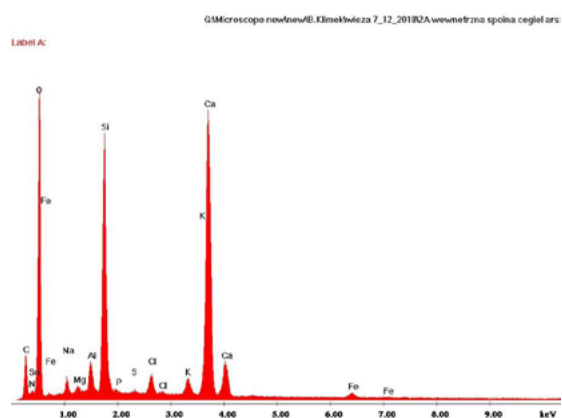
Ryc. 11. Obraz przełamu próbki Nr 3/BS (SEM 100x)



Ryc. 12. Widmo energetyczne analizy EDS próbki Nr 3/BS



Ryc. 13. Obraz przełamu próbki Nr 2/SC (SEM 200x)



Ryc. 14. Widmo energetyczne analizy EDS próbki Nr 2/SC

Zróżnicowana jest również mikrostruktura spoin pod tynkami. Spoina 3/BS ma zwartą mikrostrukturę, piasek jest dobrze otoczony spoiwem i tworzy zwartą masę (Ryc. 11).

Natomiast mikrostruktura spoiny 2/CS jest porowata, z licznymi owalnymi porami i pęknięciami w spoiwie na granicy ziaren piasku (Ryc. 13).

Tabela 4. Skład chemiczny przełomów próbek na podstawie analizy EDS [wag. %]

Wt%	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe
1/BT	11,15	45,15	0,54	0,78	1,23	10,48	0,27	0,28	0,25	0,35	28,52	0,99
4/CT	12,91	45,05	0,33	0,37	1,20	13,43	0,13	2,04	0,17	0,44	23,10	0,84
2/CS	9,59	47,43	1,23	0,34	1,45	12,48	0,08	0,14	1,13	1,12	21,41	1,14
3/BS	9,45	45,64	0,88	0,31	1,00	15,29	0,06	0,59	0,97	0,88	21,26	0,83

Obserwacje w mikroskopie skaningowym wykazały, że tynk wapienno-piaskowy 4/CT poddawany był wpływowi środowiska atmosferycznego tylko na powierzchni. Większość ziaren piasku jest odstonięta od spoiwa i pęka. Występują liczne drobne pory o wielkości około 20 μm oraz pojedyncze pory o średnicy około 50 μm . Spoiwo zostało wypłukane w miejscach tworzących kawerny. Ponadto doszło do infiltracji CaCO_3 i krystalizacji gipsu (Ryc. 9, Ryc. 10, Tab. 4).

We wszystkich próbkach spoiwo miało charakter mikrytowy (węglanowy) było jednorodne. Mogło to wynikać z dobrego wypału skały węglanowej, ale także z dobrej homogenizacji z wypełniaczem, być może też wiązało się z relatywnie długotrwałym sezonowaniem wapna. Zróżnicowanie w charakterze i morfologii ziaren kruszywa świadczyło o tym, że materiał pochodził ze zwierzelin lokalnie występujących w podłożu skał metamorficznych. Wskazywał na to zbliżony do nich skład petrograficzny oraz nieznaczne obtoczenie wynikające z ewentualnego transportu na niewielkie odległości. Taka zmienność wskazywałaby na pewne zróżnicowanie w technologii przygotowywania zapraw, wynikające z większego lub mniejszego zaangażowania warsztatu budowlanego w odpowiednie ich przygotowywanie. Kruszywo stanowiące wypełniacz zaprawy zostało dokładnie przesiane. Także wapno użyte jako spoiwo mieszanki wypalono w odpowiedniej temperaturze i długo lasowano, zawiera ono bowiem bardzo niewielkie ilości skupin mikrytowych.

Niższa porowatość warstw tynków wskazuje na wyższą gęstość warstw zewnętrznych, w stosunku do warstw spoiwa. Może to wynikać z reakcji karbonizacji w procesie wiązania i utwardzania zapraw tynkarskich [18,19] podczas którego następuje spadek porowatości i wzrost wytrzymałości. W tynku 4/CS stwierdzono obecność gipsu, który może wynikać z zanieczyszczenia powietrza i kwaśnych deszczy lub zanieczyszczeń ze spalin samochodowych. Powodem zróżnicowania twardości badanych tynków jest ich odmienna struktura wewnętrzna.

Wnioski

Badanie materiałów pobranych z zabytkowych budynków mają pierwszorzędne znaczenie dla przyszłej renowacji. Określa konieczność zapewnienia pełnej kompatybilności między oryginalnym materiałem i zaprawą renowacyjną. Wyniki badań mineralogicznych zapraw prowadzą do wniosku, że wszystkie zaprawy mają podobną technologię wykonania, świadczy o tym porównywalne kruszywo krzemionkowe wykazujące pokrewną bimodalną wielkości ziarna i taki sam typ spoiwa.

W podsumowaniu kwestii przydatności analizy zapraw do badań historycznych należy zauważyć, że jest ona przede wszystkim próbą zobiektywizowania trafności spostrzeżeń badacza, które zazwyczaj są dokonywane tradycyjnie, okiem nieuzbrojonym w mikroskop. Wbrew przekonaniu o „identyczności” zapraw wapiennych można dzięki niej dostrzec pewne uporządkowanie próbek w zakresie:

- analiza rentgenowska wszystkich składników zawartości fazowej w badanych próbkach wykazała podobny skład tynku zawierającego głównie kwarc i węglan wapnia. Obecność węglanu wapnia, a także brak typowych dla cementu związanych związków przemawia za stosowaniem tynków wapiennych.
- kwarc wykazuje niewielkie zróżnicowanie wielkości i stopnia obtoczenia, wielkość waha się w granicach 0,03 mm do 0,15 mm; pokrój ziaren jest zmienny od owalnego do wyraźnie obtoczonego
- spoiwem w badanych zaprawach jest kalcyt, wykształcony w formie mikrytu wapiennego lub węglanowego, występującego w postaci izomerycznych ziarenek o wielkości 0,4–1,3 mm. Mikryt ten tworzy rodzaj tzw. kaszy krystalicznej;
- W tynku 4/CS na elewacji jest więcej piasku, a spoiwo ma puste przestrzenie i nie przylega dobrze do ziaren kruszywa. Sprzyja temu wpływ środowiska atmosferycznego oraz powstawanie w tynkach związków gipsowych. Ważna może być również technologia przygotowania. Tynki o wyższej twardości wykonano przez mocniejsze zacieranie, co przyczyniło się do większej zwartości struktury tynku.

Literatura

- [1] Teodorowicz-Czerepińska J., Michalska G., *Baszta Półokrągła II (Jezuicka 5–7/Królewska 6)*, [w:] *Mury miejskie Lublina*, Lublin 2021, s. 162–168.
- [2] Widawski J., *Miejskie mury obronne w Państwie Polskim do pocz. XV w.*, Warszawa 1973, s. 54.
- [3] Koziejowski W., *Rozpoznanie historyczne Baszty Półokrągłej w Lublinie*, [mps]1992, Archiwum WUOZ w Lublinie.
- [4] Kwiatkowski B., Janus K., *Budowla baszty półkolistej (gotyckiej) w dawnej linii murów obronnych Lublina. Badania architektoniczne*, [mps] 2018, Archiwum WUOZ w Lublinie.
- [5] Secco M. et al., *Mineralogical clustering of the structural mortars from the Sarno Baths, Pompeii: a tool to interpret construction techniques and relative chronologies*, „*Journal of Cultural Heritage*”, 2019, No 40, s. 265–273; DOI.org/10.1016/j.culher.2019.04.016 [dostęp: 28.10.2022].
- [6] Vettori S. et al., *Archaeometric and archaeological study of painted plaster from the Church of St. Philipin Hierapolis of Phrygia (Turkey)*, „*Journal of Archaeological Science: Reports*”, 2019, No 24, s. 869–878; DOI.org/10.1016/j.jasrep.2019.03.008 [dostęp: 28.10.2022].
- [7] Miriello D. et al., *New compositional data on ancient mortars and plasters from Pompeii (Campania – Southern Italy): archaeometric results and considerations about their time evolution*, „*Materials Characterization*”, 2018, No 146, s. 189–203; DOI.org/10.1016/j.matchar.2018.09.046 [dostęp: 28.10.2022].
- [8] Laycock E.A. et al., *An investigation to establish the source of the Roman lime mortars used in Wallsend, UK*, „*Construction and Building Materials*”, 2019, No 196, s. 611–625; DOI.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.108 [dostęp: 28.10.2022].
- [9] Borsoi G. et al., *Analytical characterization of ancient mortars from the archaeological roman site of Pisões (Beja, Portugal)*, „*Construction and Building Materials*”, 2019, No 204, s. 597–608; DOI.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.233 [dostęp: 28.10.2022].
- [10] Van Balen K. et al., *Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars*, „*Materials and Structures*”, 2005, vol. 38, No 8, s. 781–785; DOI: 10.1007/BF02479291 [dostęp: 28.10.2022].
- [11] Bartz W. et al., *Characterization of historical lime plasters by combined non-destructive and destructive tests: The case of the sgraffito in Boznów (SW Poland)*, „*Construction and Building Materials*”, 2012, No 30, s. 439–446; DOI.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.045 [dostęp: 28.10.2022].
- [12] Maravelaki-Kalaizaki P. et al., *Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete*. „*Cement and Concrete Research*”, 2005, No 35, s. 1577–86; DOI.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.001 [dostęp: 28.10.2022].
- [13] Alvarez J.I. et al., *Methodology and validation of a hot hydrochloric acid attack for the characterization of ancient mortars*. „*Cement and Concrete Research*”, 1999, No 29, s. 1061–1065; DOI.org/10.1016/S0008–8846(99)00090–3 [dostęp: 28.10.2022].
- [14] Coroado J. et al., *Characterization of renders, joint mortars, and adobes from traditional constructions in Aveiro (Portugal)*, „*International Journal of Architectural Heritage*”, 2010, No 4, s. 102–114; DOI.org/10.1080/15583050903121877 [dostęp: 28.10.2022].
- [15] Moropoulou A. et al., *Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and x-ray diffraction techniques*, „*Thermochimica Acta*”, 1995, No 269, s. 779–795; DOI:10.1016/0040–031(95)02571–5 [dostęp: 28.10.2022].
- [16] Arioglu N. et al., *A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: a staging system approach*. „*Building and Environment*”, 2006, No 41, s. 1223–1230; DOI:10.1016/j.buildenv.2005.05.015 [dostęp: 28.10.2022].
- [17] Owsiak Z., *Microscopic methods for analysis of mortars from historical masonry structures*, „*Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*”, 2021, No 69, no. 1, s. 1–8; DOI:10.24425/bpasts.2021.136042 [dostęp: 28.10.2022].
- [18] Cultrone G. et al., *Forced and natural carbonation of lime based mortars with and without additives: mineralogical and textural changes*. „*Cement and Concrete Research*”, 2005, No 35, s. 2278–89. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.12.012> [dostęp: 28.10.2022].
- [19] Lawrence R. et al., *Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars*. „*Cement and Concrete Research*” 2007, No 37, s. 1059–69; <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.04.011> [dostęp: 28.10.2022].

Research on historical mortars from the Gothic Tower in Lublin

Summary: The Semicircular Tower, also called the Gothic Tower, is one of the oldest buildings in Lublin. It was built in the 14th century of stone and brick. It was part of the defensive walls erected by King Kazimierz Wielki. During contemporary restoration works, original materials were taken: mortar. The article presents mineralogical and chemical characteristics of mortars. The analytical methodology included: qualitative mineralogical analysis of the entire sample by X-ray diffraction (XRD); morphological tests with elemental assessment and microanalysis of the binder by means of scanning electron microscopy and X-ray spectroscopy with energy dispersion (SEM-EDS). Determination of the residual parts insoluble in hydrochloric acid was carried out. This methodology made it possible to determine the composition of mortars: tests of rising water absorption after 24 hours of immersion. It was found that the tested mortars have a similar mineralogical structure, but slightly differ in the share of individual components, primarily the aggregate fraction. The samples consist mainly of quartz and calcite with additional silicates. In addition, it was shown that the lime binder of mortars has a microcrystalline character. For the production of historical mortars, mainly quartz sand and minerals from the feldspar and silicate groups were used as aggregate.

Keywords: Gothic Tower, historical mortar, research, Lublin
