

VI.5. BADANIA ZAPRAW

MARIA GAŚSIOR, WOJCIECH BARTZ, JERZY RACZYK, PAULINA JACIÓW

WSTĘP

Przeprowadzono analizę szesnastu próbek zapraw, pochodzących z różnych obiektów budowlanych

Wrocławia. Szczegółowa analiza przedstawiona jest w aneksie na płycie DVD załączonej do książki.

Nr próbki	Lokalizacja miejsca pobrania próbek
S1	ul. Ruska 28, Browar „Pod Wielkim Morskim Okrętem”
S2	pl. Wolności, mur bastejowy, zaprawa z wnętrza muru
S3	pl. Wolności, mur bastejowy, zaprawa z licowej, zewnętrznej warstwy muru
S4	Bastion Ceglarski około 1600 r.
S5	ul. P. Włodkowica 4, mur bastejowy
S6	Kościół Bernardynów, prezbiterium, pacha ponad sklepieniem
S7	Kościół Bernardynów, korpus ponad pachami sklepienia, gniazdo belki
S8	Kościół Bernardynów, górne partie murów obwodowych wieży kościoła, lico zewnętrzne
S9	Kościół Bernardynów, <i>claustrum</i> , spływ sklepienia
S11	Bastion Ceglarski, odcinek wschodni przy zatoce gondoli, mur obwodowy północny
S12	Bastion Piaskowy, północny mur obwodowy, odcinek zachodni (bulwar im. X. Dunikowskiego)
S13	Kościół Salwatora – I faza
S14	Arsenał, skrzydło południowe (spichlerz)
S15	Bastion Piaskowy, faza z 1585 roku
S16	ul. św. Elżbiety 4, dawne gimnazjum elżbietańskie, faza I z 1560–62 roku
S18	Szpital Wszystkich Świętych – kurtyna fortyfikacji bastejowych, przed powstaniem Bastionu Kleszczowego
S19	Szpital Wszystkich Świętych z 1526 roku

BADANIA PETROGRAFICZNE

KOŚCIÓŁ BERNARDYNÓW P.W. ŚW. BERNARDYNA ZE SIENY

Próbki zapraw (nr S6, S7, S9), pochodzące z kościoła Bernardynów we Wrocławiu, charakteryzują się szeregiem zbliżonych cech petrograficznych. Wszystkie składają się z węglanowego (mikrytowego) spoiwa, oraz krzemianowego wypełniacza (szkieletu ziarnowego). Głównym składnikiem tego ostatniego są ziarna kwarcu, wykazujące we wszystkich próbkach charakterystyczną morfologię. Część ziaren jest dość znacznych rozmiarów, osiągając wielkość do około 1,0 mm. Te wykazują dość dobre wyoblenie, niektóre z ziaren są wręcz dobrze obtoczone. Obok takich ziaren, w składzie wypełniacza spotyka się liczne drobne osobniki, wielkości często poniżej około 0,1 mm. Te są bardzo słabo wyoblone, do wręcz niekiedy ostrokrawędzistych. Są zazwyczaj dość równomiernie rozmieszczone pomiędzy ziarnami większymi, choć niekiedy lokalnie (głównie w próbce nr S6) tworzą nagromadzenia w strefach o wielkości do kilku milimetrów. W takich strefach

nie spotyka się ziaren większych. Ziarnom kwarcowym towarzyszą ziarna skaleni. Ich morfologia jest taka sama, jak w wypadku morfologii ziaren kwarcu. Grupę głównych składników wypełniacza uzupełniają fragmenty skał, podobnie wykształcone we wszystkich próbkach. Są one reprezentowane przez fragmenty granitoidów, oraz rzadsze ziarna mikrokryształicznych skał – kwaśnych skał wylewnych czy też skał krzemionkowych (czertów, krzemieni). Obok składników głównych, w próbkach nr S6, S7 i S9 występuje bogaty zestaw składników akcesorycznych. Są to między innymi ziarna minerałów nieprzezroczystych (lekko wietrzejące w próbce nr S6), czy też często spotykane: muskowit, biotyt, granat, oraz minerał o wyglądzie zoizytu lub piroksenu. Innymi charakterystycznymi składnikami wszystkich trzech zapraw są drobiny cegły, wykazujące różny stopień wypalenia. Część z nich posiada spoiwo ilaste, z dobrze zachowanymi minerałami blaszkowymi. Inne, silniej wypalone, mają tło całkowicie skrytokrystaliczne, nie zawierające reliktów minerałów ilastych.

Niekiedy spotyka się amfibol, spieki krzemianowe, występujące w otoczce mikrytowej lub samodzielnie w spoiwie, fragmenty tkanki roślinnej (drewno?).

Spoiwo we wszystkich próbkach jest węglanowe. Jest to silnie niejednorodna, mikrokrystaliczna masa mikrytowa, zawierająca liczne, często znacznych rozmiarów, rzędu kilku milimetrów, skupienia mikrytowe (grudki wapna). Obecność wyżej wspomnianych spieków krzemianowych, występujących niekiedy wewnątrz skupień mikrytowych wskazuje, że wapno wypalane było z materiału zawierającego fazy krzemianowe, a sam wypał prowadzony był w warunkach niehomogenicznych, co przyczyniło się do niepełnego skalcynowania ziaren wapienia, obecnie widocznych, jako skupienia mikrytowe. Jednocześnie obecne w wapienniku składniki niewęglanowe (kwarc, minerały ilaste itp.) podczas kalcynacji wapna uległy spiecznieniu do wyżej wymienionych spieków krzemianowych.

Obserwowane cechy petrograficzne wypełniacza próbek, takie jak: podobne uziarnienie (w tym obecność licznych bardzo drobnych ziaren), zbliżona morfologia ziaren, podobny skład zarówno składników głównych, jak przede wszystkim podobny zestaw składników akcesorycznych, wskazują że do wyrobu zapraw wykorzystano osad (piasek) pochodzący najprawdopodobniej z tego samego źródła. Drobne różnice przejawiające się brakiem w niektórych próbkach składników akcesorycznych (obecnych w innych), czy też nieco mniejsza ilość ziaren najdrobniejszej frakcji w próbce nr S9 mają znaczenie drugorzędne.

PLAC WOLNOŚCI, MUR BASTEJOWY

Próbki zapraw, pochodzące z muru bastejowego przy pl. Wolności (nr S2 i S3), wykazują między sobą bardzo zbliżone cechy petrograficzne, jednocześnie podobne są w pewnym stopniu do zapraw pochodzących z kościoła Bernardynów. Podobnie, jak w ich wypadku, również te zaprawy posiadają spoiwo węglanowe (mikrytowe), oraz krzemianowy wypełniacz, o zbliżonej morfologii ziaren. Cechą charakterystyczną zapraw nr S2 i S3 jest bardzo duży udział ziaren drobnych, wielkości poniżej około 0,1–0,2 mm. Są one jednocześnie bardzo słabo wyoblone, czy też zupełnie ostrokrawędziste. Ziarna większe są obecne, jednak stosunkowo rzadkie, mniej liczne w porównaniu do zapraw z kościoła Bernardynów. Natomiast, podobnie jak w wypadku tego ostatniego obiektu, również zaprawy muru bastejowego posiadają w składzie ziarna większe, które są dość dobrze wyoblone. Składniki główne to kwarc, skalenie, oraz fragmenty skał (granitoidy i skały wylewne czy

krzemionkowe). Składniki akcesoryczne są obecne, jednak stanowią one dość mało urozmaiconą grupę, w porównaniu do zapraw z kościoła Bernardynów, jednocześnie występują znacznie rzadziej. Są to, przede wszystkim, ziarna minerałów nieprzezroczystych, oraz glaukonit, granat, amfibol obecne w próbce nr S2 i muskowit obecny w próbce nr S3. Liczba takich kryształów nie przekracza jednej, dwóch sztuk w skali preparatu mikroskopowego.

Spoiwo z muru bastejowego na placu Wolności jest bardzo niejednorodne, węglanowe, przypomina spoiwo zapraw z kościoła Bernardynów. Tu również licznie występują wyodrębnione z niego skupienia mikrytowe (grudki wapna). Dodatkowo jednak spoiwo wykazuje daleko idące oznaki rekrytalizacji węglanów. Widoczne są liczne spękania, zabliźniane kryształami kalcytu znacznie większych rozmiarów, niż typowy mikryt spoiwa. Lokalnie osiągają one rozmiary do kilku dziesiątych części milimetra, przy czym mają często hipautomorficzne, czy automorficzne kształty. Obok takich miejsc, znaczna część spoiwa mikrytowego składa się z relatywnie większych kryształów kalcytu, niż typowy mikryt. Obserwowane przemiany powstały wskutek procesów rozpuszczania węglanów spoiwa przez wody porowe (wody opadowe, czy też obecne wskutek podciągania kapilarnego), a następnie ich krystalizowania w wolnych przestrzeniach.

MUR BASTEJOWY, UL. P. WŁODKOWICA

Zaprawy z muru bastejowego reprezentowała jedna próbka, oznaczona numerem S5. Ma ona zbliżony charakter petrograficzny do próbek nr S2 i S3, pochodzących z muru bastejowego przy pl. Wolności. Cechą charakterystyczną próbki nr S5 jest stosunkowo drobnoziarnisty charakter wypełniacza. Ziarna nie przekraczają wielkości 1,0 mm, przy czym znaczna ich część to osobniki drobne, wielkości poniżej około 0,2 mm. Te najmniejsze są słabo wyoblone do wręcz niekiedy ostrokrawędzistych. Jedynie ziarna większych rozmiarów charakteryzują się lepszym wyobleniem. Składniki główne szkieletu ziarnowego to kwarc, skalenie oraz fragmenty skał (granitoidy i skały wylewne czy krzemionkowe). Jako składniki akcesoryczne spotyka się ziarna minerałów nieprzezroczystych oraz glaukonit i amfibol. Te dwa ostatnie są na tyle rzadkie, że w skali preparatu mikroskopowego występują jako jedno skupienie glaukonitu i jedno ziarno amfibolu. Spoiwo jest węglanowe (mikrytowe), silnie niehomogeniczne. Zawiera liczne, dużych rozmiarów, wyodrębnione skupienia mikrytowe. Część z nich jest jednorodna, spękana, ale w niektórych widoczne są graniaste

struktury, prawdopodobnie będące pozostałościami po pierwotnej strukturze skały wapiennej, z której kalcynowano wapno.

BASTION CEGLARSKI

Z wyżej wymienionego obiektu pochodzą dwie próbki zapraw, oznaczone numerami S4 i S11. Obie próbki są zbliżone petrograficznie, posiadają dość ubogi objętościowo szkielet ziarnowy, spojony węglanem wapniowym (mikrytem). Skład wypełniacza jest również dość ubogi, poza kwarcem będącym głównym składnikiem, podrzędnymi fragmentami skał (granitoidy i krzemionkowe lub kwaśne wylewne) i skaleniami, spotyka się ziarna minerałów nieprzezroczystych, nieliczne drobiny cegły, oraz akcesoryczny granat (próbka nr S4) i glaukonit (próbka nr S11). Ziarna szkieletu nie przekraczają około 1,0 mm, przy czym znaczna ich część zbliża się wielkością do rozmiarów maksymalnych, przy generalnie braku ziaren mniejszych niż około 0,1–0,2 mm. Ziarna szkieletu są jednocześnie dobrze obtoczone. Spoiwo typowe, węglanowe, ma charakter niejednorodnej masy mikrytowej, zawierającej częste skupienia mikrytowe. Jest ono dość silnie przekrystalizowane, część mikrytu zastępowana jest przez nowo powstałe, drobne kryształki jawnokrystalicznego kalcytu – mikrosparytu, które w odróżnieniu od mikrytu są bezbarwne i dobrze przezroczyste. Zastępują one pierwotny mikryt, zarówno w obrębie całej masy (poza wyodrębnionymi skupieniami), jak i krystalizują w formie inkrustacji wewnątrz por i spękań.

WROCLAW, UL. RUSKA 28, BROWAR „POD WIELKIM MORSKIM OKRĘTEM”

Próbka zaprawy z tego obiektu oznaczona została numerem S1. Ma ona zbliżony charakter do wyżej opisanych zapraw. Wypełniacz ma charakter krzemianowy, spojony jest węglanowym (mikrytowym) spoiwem. Głównym składnikiem wypełniacza są ziarna kwarcu, z podrzędnymi ziarnami skaleni, fragmentów skał (granitoidy). Nietypowym składnikiem w grupie skał są fragmenty bazaltów, których obecność w badanych próbkach, w odróżnieniu od granitoidów, stwierdzono rzadko. Jako składniki akcesoryczne spotyka się ziarna minerałów nieprzezroczystych oraz węgiel drzewny i spieki krzemianowe. Te dwa ostatnie składniki powiązane są genetycznie z procesem wypału wapna. Węgiel to pozostałość po paliwie użytym do kalcynacji wapna, a spieki krzemianowe powstały z składników niewęglanowych (zanieczyszczeń) wsadu wapiennika, w strefach o podwyższonej temperaturze. Ziarna wypełniacza mają wielkość do około 1,0 mm, są

dość dobrze obtoczone. Spaja je silnie niejednorodna masa węglanowa, wśród której licznie występują niejednorodności w postaci wyodrębnionych skupień mikrytowych (grudek wapna).

BASTION PIASKOWY

Próbki zapraw z tego obiektu oznaczone były numerami S12 oraz S15. Obie próbki wykazują szereg cech wspólnych. Szkielet ziarnowy zdominowany jest przez ziarna kwarcu, obok którego spotyka się podrzędne ziarna skaleni, oraz ziarna będące fragmentami skał. Te ostatnie to przede wszystkim ziarna skał głębinowych o składzie granitoidowym, oraz rzadsze ziarna mikrokrystalicznych skał – osadowych krzemionkowych, lub skał wylewnych. Skład szkieletu uzupełniają składniki akcesoryczne, reprezentowane przez rzadkie ziarna minerałów nieprzezroczystych, oraz granat (jedno ziarno) w zaprawie nr S12 i ziarna rudy darniowej w próbce nr S15. Ten ostatni składnik ma wygląd podobny do ziaren cegły, w odróżnieniu od niej ma naturalną genezę i charakteryzuje się dobrym wyobleniem. Ziarna szkieletu nie przekraczają wielkości około 1,0 mm, są podobnie jak ziarna rudy dobrze obtoczone. Spoiwo ma charakter węglanowy, jest to masa mikrytowa, niejednorodna, zawierająca wyodrębnione skupienia mikrytowe (grudki wapna). Są one liczne w wypadku zaprawy nr S12, a nieco mniej liczne w zaprawie nr S15. W wypadku obu zapraw obserwuje się efekty rekrytalizacji węglanów, budujący spoiwo mikryt zastępowany jest przez lepiej skrytalizowany sparyt.

WROCLAW, DAWNY RENESANSOWY SZPITAL WSZYSTKICH ŚWIĘTYCH

Próbki z szpitala oznaczone były numerami S18 i S19. Posiadają one podobny skład szkieletu ziarnowego, którego głównym składnikiem jest kwarc, uzupełniony przez ziarna skaleni i fragmenty skał (granitoidy, mikrokrystaliczne skały krzemionkowe, lub wylewne). Uzupełnienie stanowią akcesoryczne ziarna minerałów nieprzezroczystych, a w próbce nr S18 drobiny tkanki roślinnej, w próbce S19 fragmenty rudy darniowej, ziarna granatu i amfibolu. W obu próbkach ziarna szkieletu są dobrze wyoblone, część ziaren wręcz reprezentuje formy doskonale obtoczone. Szkielety ziarnowe obu próbek różnią się natomiast wielkością ziaren. Wprawdzie w obu próbkach przeważająca większość nie przekracza 1,0 mm, to jednak w zaprawie nr S18 większość zbliżona jest do wielkości maksymalnej, podczas gdy w próbce nr S19 jedynie niewielka ich część. Większość z ziaren próbki nr S19 nie przekracza rozmiarów około 0,5 mm. Spoiwo w obu zaprawach węglanowe, wy-

kształcone jako typowy, skrytokrystaliczny mikryt. W wypadku próbki nr S18 wydaje się być stosunkowo jednorodne, nie obserwuje się w preparacie mikroskopowym skupień mikrytowych, choć należy pamiętać że reprezentuje on stosunkowo niewielką powierzchnię przekroju próbki. Niewykluczone więc że występują one w zaprawie, choć w niewielkich ilościach. W próbce nr S19 skupienia są natomiast liczne, wielkości do około 1,0 mm, nadając spoiwu charakter wyraźnie niehomogeniczny. Dodatkowo w próbce nr S18 część spoiwa przekształcona jest do jawnokrystalicznej formy węglanów – sparytu. Są to drobne kryształki, czy zrosty sparytowe, zastępujące lokalnie mikryt spoiwa.

WROCLAW, UL. ŚW. ELŻBIETY 4,
DAWNE GIMNAZJUM ELŻBIETAŃSKIE

Materiał z gimnazjum elżbietańskiego to próbka, oznaczona numerem S16. Posiada ona, tak jak wcześniej opisane próbki z innych obiektów, spoiwo węglanowe, wykształcone pod postacią masy mikrytovej. W jej obrębie dość często spotyka się wyodrębnione, samodzielne skupienia mikrytowe, o typowych, owalnych kształtach. Masa mikrytowa spaja szkielet ziarnowy, zdominowany przez kwarc, obok którego występują podrzędne skalenie i fragmenty skał. W obrębie tych ostatnich, obok typowych ziaren granitoidów, oraz mikrokryształicznych skał (kwaśne wylewne lub osadowe krzemionkowe), spotyka się ziarna obojętnych skał wylewnych – bazaltu. Całość uzupełniają składniki akcesoryczne, do których należą: ziarna minerałów nieprzezroczystych, nieliczne drobiny węgla drzewnego, oraz ziarna o wyglądzie cegły. Ziarna szkieletu są dość dobrze wyoblone, a największe nie przekraczają około 1,0 mm wielkości.

ANALIZA W MIKROSKOPIE SKANINGOWYM (SEM) I MIKROANALIZA RENTGENOWSKA (EDS)

Wyniki obserwacji w mikroskopie skaningowym (SEM) z przystawką do mikroanalizy rentgenowskiej (EDS) pozwalają stwierdzić, że zaprawy poddane badaniom zawierają przede wszystkim spoiwo wapienne z wypełniaczem. Spoiwo ma formę drobno-kryształicznego mikrytu i dobrze przylega do ziaren wypełniacza. Zaobserwowano pojedyncze kryształy sparytu wbudowane w strukturę mikrytowego spoiwa, oraz rekryształizację węglanów, m. in. w próbce nr S13. W spoiwie większości próbek stwierdzono także obecność związków magnezu – najprawdopodobniej w formie dolomitu $[\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2]$, jak również kryształy hydromagnezytu $[\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ i/lub dypingitu $[\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$

WROCLAW, ARSENAŁ,
SKRZYDŁO POŁUDNIOWE (SPICHLERZ)

Obiekt ten reprezentuje jedna próbka, o symbolu nr S14. Ma ona podobny charakter do wyżej opisanej, z gimnazjum elżbietańskiego. Szkielet ziarnowy ma podobne składniki główne (kwarc, skalenie, skały). Obok nich spotyka się akcesoryczny węgiel drzewny, oraz ziarna granatu i amfibolu. Morfologia ziaren zmienna, część jest dość dobrze wyoblona, osiąga rozmiary zbliżone do 1,0 mm, które to jednocześnie są rozmiarem maksymalnym. Większość ziaren jest jednak mniejsza, zazwyczaj nie przekracza około 0,3 mm, przy czym są to osobniki stosunkowo słabo wyoblone. Spoiwo typowe, węglanowe i niejednorodne, zawiera dość częste wyodrębnione skupienia mikrytowe.

WROCLAW, KOŚCIÓŁ SALWATORA

Z kościoła Salwatora pochodzi jedna próbka, oznaczona numerem nr S13. Jest ona dwuwarstwowa, jedna z warstw jest stosunkowo miększa, o grubości kilkunastu milimetrów, podczas gdy warstwa druga ma miąższość około 2,0 mm. W obu skład wypełniacza jest taki sam, są to ziarna kwarcu, uzupełnianie przez skalenie, fragmenty skał (granity i mikrokryształiczne skały wylewne lub osadowe krzemionkowe). Jako składniki akcesoryczne występują ziarna minerałów nieprzezroczystych. W obu warstwach ziarna są dość dobrze obtoczone, natomiast różnią się wielkością. W wypadku warstwy drugiej ziarna mają nieco mniejsze rozmiary, w porównaniu do ziaren warstwy pierwszej (o dużej miąższości). Spoiwo w obu warstwach węglanowe, choć jedynie w warstwie pierwszej zawiera wyodrębnione z niego skupienia mikrytowe.

– próbka nr S8. Niewielkie ilości gipsu, wtórnie wykrystalizowanego, w postaci pojedynczych kryształów lub drobnych ich skupisk zaobserwowano w próbkach nr S2, S3, S6 i S14.

W próbkach nr S2, S3 i S5 występują kuliste formy minerałów (siarczan wapienia) powstałe w wyniku działania zanieczyszczeń atmosferycznych. Kryształy wbudowane w strukturę spoiwa zawierające w swoim składzie krzemiany wapienia (spieki krzemianowe), zaobserwowano w próbkach nr S12, S13 i S18.

W próbkach nr S1 i S7 potwierdzono również obecność minerałów ilastych (glinokrzemianów). Dodatkowo w próbce nr S1 występują związki żelaza (getyt?).

BADANIA MIKROCHEMICZNE I GRANULOMETRYCZNE

Próbki zapraw poddane analizie uziarnienia zawierają głównie frakcję piaskową (wielkość ziaren 2–0,05 mm) jako wypełniacz. Wyjątkiem są próbki nr S1 i S18 oraz nr S16, w których stwierdzono znaczne ilości frakcji żwirowej (ziarna powyżej 2 mm) – odpowiednio 41,52%, 38,70% i 11,48%. Ziarna o wielkości od 1,00–0,25 mm dominują w próbkach nr S4, S11–S14, S15 i S16. Znaczną ilość ziaren kruszywa o wielkości 0,25–0,10 mm zawierają próbki nr S3, S5, S6, S7, S8, S14 i S19. Większość próbek nie zawiera frakcji pylastej (ziarna poniżej

0,05 mm) lub zawiera jej znikome ilości (poniżej 1%). Obserwacja ziaren wypełniacza, po separacji na sitach analitycznych, pozwala potwierdzić obecność drobnych fragmentów cegieł w próbkach nr S4, S6, S7 (znaczne ilości) i nr S8. Wypełniacz w próbkach nr S5 i S14 ma silnie ugrówne zabarwienie. W próbkach nr S1, S4, S5, S7, S8, S11, S14, S16 i S19 po trawieniu 2 mol HCl widoczne są ziarna barwy białej (skalanie?), głównie drobne. W przypadku próbki nr S14 widoczne są również pojedyncze ziarna we frakcji żwirowej.

ANALIZY TERMICZNE

Badania wykonane metodą termicznej analizy różnicowej (DTA) i termogravimetrii (TG) wykazały silny efekt endotermiczny dla wszystkich próbek, w zakresie temperatur 600–950 °C (DTA i DTG), wynikający z dekarbonizacji kalcytu (CaCO_3), a także silny ubytek masy (TG). Widoczne dla niektórych próbek nieco mniejsze ugięcie krzywej DTG w temp. pow. 600°C, w porównaniu do głównego ugięcia – przypuszczalnie wskazuje na istnienie dwóch form krystalicznych CaCO_3 (mikryt), oraz mniejsze ilości jawnokrystalicznego spoiwa, pochodzącego od procesów rekrytalizacji spoiwa w porach zapraw, lub budującego ziarna wapieni. Dodatkowo w wypadku próbki nr S8, w temp. pow. 600 °C, obserwuje się drobne ugięcie krzywej DTG (ok. 840 °C), co może wskazywać na obecność dolomitu, który rozkłada się termicznie dwuetapowo. Może on wchodzić w skład spoiwa, jak również ziaren wypełniacza (np. wapienie dolomityczne).

Widoczne na krzywej DTG ugięcia dla temp. 402 °C i 471 °C, to zmiany termiczne będące etapami trzystopniowego rozpadu hydromagnezytu. W przypadku próbki nr S11, na krzywej DTG, dobrze zaznaczają się pierwszy i trzeci etap rozpadu tej substancji, w temperaturze odpowiednio 217 °C i 411 °C.

Pochylona krzywa TG, w zakresie 200–600°C, może wskazywać na rozpad getytu lub obecność drobnych ilości zachowanego portlandytu (Ca(OH)_2). O obecności portlandytu może świadczyć pojedyncze ugięcie krzywej DTG w temp. 500 °C w próbce nr S13. Choć również w tej temperaturze dysocjacji termicznej ulega magnezyt. Powolny spadek masy w zakresie 200–600 °C (poza próbka nr S13) można również, poza getytem, przypisać obecności minerałów ilastych (ich dehydratacji w zakresie temp. 100–200 °C, oraz dehydroksylacji w zakresie 200–500 °C – próbki nr S1, S4 i S5).

ANALIZY METODĄ ATOMOWEJ SPEKTROMETRII ABSORPCYJNEJ (AAS) I OPTYCZNEJ SPEKTROMETRII EMISYJNEJ ZE WZBUDZENIEM PLAZMOWYM (ICP-OES)

Analizy wykonane metodami atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS) i optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-OES) wykazały, że koncentracja krzemionki rozpuszczalnej w kwasie solnym (HCl) w większości próbek jest bardzo mała. Podwyższone zawartości notowano jedynie dla próbki nr S13. Zawartość wapnia zmienia się w szerokich granicach, najwyższą wartość osiągając w próbce nr S13, charakteryzującej się jednocześnie najwyższą koncentracją krzemionki. Zawartość żelaza (Fe^{III}) zazwyczaj jest niska, jedynie próbki nr S13 i S1 charakteryzowały się podwyższoną jego zawartością. Pierwiastek ten prawdopodobnie zwią-

zany jest w formie hydroksotlenku żelaza (getyt), lub ewentualnie tlenku żelaza (hematyt), co może potwierdzać występowanie w obrazie mikroskopowym próbki nr S1 czerwonych plam, w wypadku nr S13 pomarańczowo-brunatny odcień spoiwa, czy obecność w niektórych próbkach drobin rudy darniowej, której to getyt jest głównym składnikiem. Getyt może być więc zarówno wykształcony w formie skrytokrystalicznej, rozproszony w masie spoiwa (pochodzący z użytego wapna, palonego ze skał wapiennych, zawierających minerały żelaza) jak i tworzyć nagromadzenia w postaci ziaren rudy (pochodząc od dodanego wypełniacza – piasku zawie-

rającego skupienia getytowe). Zawartość magnezu jest relatywnie niska, w porównaniu do koncentracji wapnia, który to zdecydowanie dominuje. Stosunek tych dwóch pierwiastków jest bardzo zmienny, wartość CaO/MgO osiąga najmniejszą wartość 5,86 dla próbki nr S8, oraz 9,79 dla próbki nr S11, co wskazuje na obecność relatywnie znacznych ilości magnezu względem wapnia. Również znaczne ilości magnezu występują w próbkach nr S1, S4, S14, S18, gdzie stosunek tych dwóch pierwiastków wynosi poniżej 20. W pozostałych stosunek ten zdecydowanie wzrasta powyżej wartości 20, osiągając wartość 89 dla próbki nr S15. W ich wypadku zawartość magnezu jest bardzo mała. Podwyższona zawartość magnezu względem wapnia wynika przypuszczalnie z zasto-

sowania wapna wzbogaconego w ten pierwiastek, co związane jest z jego wypałem z skał wapiennych zbudowanych z kalcytu i kalcytu magnezowego lub kalcytu i dolomitu. Analogicznie próbki z wysokim stosunkiem CaO/MgO przypuszczalnie wykonane zostały na bazie wapna palonego z skał wapiennych zbudowanych praktycznie wyłącznie z kalcytu. Obliczony na podstawie uzyskanych koncentracji tlenków wskaźnik hydrauliczności CI (ang. *cementation index*) we wszystkich próbkach jest bardzo niski, co jednoznacznie wskazuje, że wszystkie zaprawy nie wykazują własności hydraulicznych, ich spoiwo wapienne (lub w części próbek wapienne z podrzędnym udziałem magnezu) ma charakter typowo powietrzny.

ANALIZA METODĄ ATOMOWEJ SPEKTROMETRII EMISYJNEJ (AES)

Wszystkie wodne roztwory próbek zapraw charakteryzują się wysokim odczynem alkalicznym (pH 8,41–12,67), mogącym świadczyć o znacznej zawartości CaCO_3 . Potwierdza to analiza zawartości węglanów wykonana metodą Scheiblera (24,00–49,60%). Próbki zawierają niewielką ilość siarczanów, co sugeruje, że w spoiwie występują śladowe ilości gipsu ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Jedynie w próbce

nr S14 obserwujemy nieznaczne zwiększenie jego zawartości (1,24%), mogące wskazywać na nieco większe ilości tej substancji. Straty prażenia (warunki analizy: 1h, 1000°C) są bardzo wysokie i wahają się w zakresie od 11,19 do 21,08 %, spowodowane są rozkładem węglanów. Wysoka zawartość krzemionki (50,72–77,75%) wynika ze znacznej zawartości piasku w analizowanych spoiwach.

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH ZAPRAW

Na podstawie uzyskanych wyników badań mikrochemicznych, granulometrycznych, petrograficznych, obserwacji w mikroskopie skaningowym, mikroanalizy rentgenowskiej, analizy termicznej oraz analizy metodami atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS), atomowej spektrometrii emisyjnej (AES) i optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-OES) można stwierdzić, że wszystkie badane próbki to zaprawy, wykonane na bazie spoiwa wapiennego, powietrznego, z dodatkami wypełniacza w postaci piasku kwarcowego.

Próbki zawierają znaczne ilości kruszywa (wypełniacza) w stosunku do spoiwa – powyżej 50% (S3 – 50,0% do S18 – 82,7%). Spoiwo wapienne, drobnokrystaliczne (mikrytowe), w większości próbek zawiera także wyodrębnione skupiska mikrytowe (grudki wapna), niekiedy znacznych rozmiarów (S4, S5). W próbkach nr S2, S3, S4, S13, S14 i S18 zaobserwowano również efekty rekrystalizacji spoiwa w postaci młodszych kryształów sparytu i mikrosparytu wypełniającego spękania i pory zaprawy. Są to ślady wietrzenia próbek zapraw wapiennych i zmian chemicznych zachodzących w ich strukturze. Analizy

chemiczne (AAS, AES, ICP-OES) oraz obserwacja w mikroskopie skaningowym z przystawką do mikroanalizy rentgenowskiej pozwoliły potwierdzić także obecność gipsu w postaci pojedynczych kryształów i drobnych ich skupisk (S2, S3, S6, S14).

W próbkach nr S1, S12, S13 i S14 zaobserwowano skupiska krzemianów wapnia. Występujące one niekiedy wewnątrz skupień mikrytowych, co wskazuje na to, że wapno wypalane było z materiału zawierającego fazy krzemianowe, a sam wypał prowadzony był w warunkach niehomogenicznych. Przyczyniło się to do niepełnego skalcyonowania ziaren wapienia, obecnie widocznych jako skupienia mikrytowe. Badania termiczne oraz AAS i AES, jak również analizy w mikroskopie skaningowym (SEM/EDS) potwierdzają, że składnikami spoiwa są również minerały zawierające w swoim składzie magnez (dolomit, hydromagnezyt, dypingit).

W próbkach nr S14 i S19 potwierdzono obecność związków żelaza (getyt, będący składnikiem m.in. rudy darniowej).

Jako wypełniacz dominuje piasek kwarcowy o mniejszym lub większym stopniu obtoczenia.

Wielkość ziaren jest zróżnicowana, dominuje kruzywo frakcji piaskowej, średnioziarniste. Jedynie w próbkach nr S1, S16 i S 18 stwierdzono ziarna frakcji żwirowej.

Potwierdzono również obecność fragmentów cegieł jako składnik wypełniacza (S1, S4, S6, S7, S9, S11), ziarna bazaltu (S1 i S16), włókna roślinne (S3, S8) oraz fragmenty węgla drzewnego (S1, S5, S14, S16).

VI.6. KOŚCIÓŁ SALWATORA NA TLE WROCŁAWSKIEGO WARSZTATU BUDOWLANEGO W 2. POŁOWIE XV I W XVI WIEKU

WOJCIECH BARTZ, MARIUSZ CABAN, MARIA GAŚSIOR, TOMASZ A. KASTEK, ROLAND MRUCZEK

Badania archeologiczno-architektoniczne reliktów kościoła Salwatora na Przedmieściu Świdnickim we Wrocławiu pozwoliły na wydzielenie pięciu faz budowlanych: faza I – lata 1561–1568; faza II – 1577 r. (1582 r.?). faza III – lata 1609–1610; faza IV – 1723r.; faza V – lata 1756–1763. Udało się zrekonstruować układy przestrzenne świątyni w okresach jej funkcjonowania.

Przeprowadzona kwerenda źródeł historycznych umożliwiła ponadto rozbić fazy III i IV na etapy uwiecznione na rysunkach z czasów istnienia kościoła.

Na takiej podstawie wykonano graficzne rekonstrukcje bryły kościoła, prezentujące przemiany jego architektury, od momentu wzniesienia w XVI w., do zniszczenia przez pożar w 1854 r.

Badania archeologiczno-architektoniczne murów reliktów kościoła Salwatora na Przedmieściu Świdnickim we Wrocławiu, ze względu na możliwość precyzyjnej korelacji wydzielonych w terenie faz budowlanych ze źródłami historycznymi, były też wyjątkową okazją do ponownego przyjrzenia się wrocławskiemu warsztatowi budowlanemu z 2. poł. XV i XVI w. od strony techniki i technologii budowy.

Badania reliktów architektonicznych kościoła Salwatora oraz zainspirowane ich wynikami rozpoznania pozostałości wrocławskich bastionów – Piaskowego i Ceglarskiego – pozwoliły istotnie, przesunąć górną granicę występowania wątku jednowozówkowego (gotyckiego, polskiego) we Wrocławiu z około połowy XVI w. dopiero na przełom XVI i XVII stulecia, kiedy to, zastąpił go ostatecznie watek niderlandzki. Szczegółnej uwagi wymaga brak właśnie tego ostatniego w najstarszych partiach murów wymienionych bastionów, datowanych odpowiednio na 1588 r. i lata 1585–1600, zbudowanych jeszcze tradycyjnie w wątku jednowozówkowym. Zmiana wątku, zapewne związana z obecnością we Wrocławiu dwóch kolejnych architektów miejskich: Fryderyka

Grossa (1586–1589) i Hansa Schneidera von Lindau (1591–1606), powiązanych z Gdańskiem i architekturą późnorenesansową, nie nastąpiła, jak widać, od razu ale rozciągnięta była w czasie zapewne na pierwsze lata XVII w. Wiązała się z tym konieczność rezygnacji z tradycyjnej techniki *opus emplectum* na rzecz murów litych.

Analizy porównawcze pomiarów cegieł wykonanych w czasie badań świątyni Salwatora z formatem cegieł pochodzących z kluczowych wrocławskich budowli, wzniesionych w 2. poł. XV i XVI w., wskazują na warsztatowe pokrewieństwo niektórych obiektów. W czterostopniowej skali statystycznego podobieństwa, zwraca naszą uwagę zwłaszcza podobieństwo określone jako „istotne”, które w praktyce może oznaczać, że cegły pochodzą z podobnego wypału. Tego typu korelacje materiału ceglanoego, pozyskanego z badań kościoła Salwatora (przede wszystkim z fazy I – 1561–1568 r. i III – 1609–1610 r.) zauważono w przypadku kamienicy zachodniej przy ul. Białoskórniczej 1 (przed 1562 r.), wieży kościoła pw. św. Barbary (po 1465 r.), kurtyny fortyfikacji bastejowych w rejonie pl. Wolności (po 1489-po 1492 r.), browaru „pod Wielkim Morskim Okrętem” przy ul. Ruskiej 28/Grabarskiej 5–6 (około poł. XVI w.), a zwłaszcza słodowni „Pańskiej” przy ul. Menniczej 24–25 (1565 r.). Jako podobieństwo „częściowe/istotne” zakwalifikowano korelację z materiałem pozyskanym z gimnazjum elżbietańskiego przy ul. św. Elżbiety 4 (1560–1562). Podobieństwo częściowe zauważono w przypadku badanych korelacji kościoła Salwatora z Bastionem Ceglarskim (1585–1600), Bastionem Piaskowym (1588 r.) czy renesansowym skrzydłem Szpitala Wszystkich Świętych (1526–1527). Z kolei pełną rozbieżność analizowanych serii zauważono w przypadku analizy porównawczej z Arsenalem Miejskim (skrzydło południowe – 1459-przed 1463 r.), kamienicą wschodnią przy ul. Białoskórniczej 1 (przed 1562 r.) czy kościołem pw. św. Bernardyna ze Sieny (1463–1502) z wyjątkiem serii, z pierwotnych