

Ślady katastrof kamiennych budowli romańskich – analiza przyczyn na przykładach z Polski południowej

Jan Bromowicz¹, Beata Figarska-Warchoł², Janusz Magiera¹



J. Bromowicz



B. Figarska-
-Warchoł



J. Magiera

Evidences of disasters in Romanesque stone structures – analysis of factors based on examples from southern Poland. *Prz. Geol.*, 74: 38–47; doi: 10.7306/2026.2

Redaktor prowadzący: Anna Fijałkowska-Mader

Abstract. Based on the results of archaeological work on Cathedral Hill in Chełm and in the Regia region of Wiślica, evidence of construction disasters was found. Traces of such disasters were also identified in the Romanesque walls of the Opatów Collegiate Church and various buildings in Kraków. Identification of the rocks, analysis of their physical and mechanical properties, and information on the subsoil of the destroyed structures revealed that the disasters in Chełm and Wiślica were likely caused by loose subsoil and the lack of weather resistance of the rocks used. In Opatów, the disaster was likely caused by a flaw in the tower's construction, whereas in Kraków, the cause appears to have been the shallow foundations of the first stone walls.

Keywords: Romanesque period, masonry, construction disasters

Zastępowanie budownictwa drewnianego kamiennymi budowlami romańskimi było dużym wyzwaniem dla fundatorów i wykonawców, gdyż wymagało zarówno nowych technologii, jak i surowców. Fundatorami byli głównie władcy i ich urzędnicy, a także duchowni. Budowle, przeważnie sakralne, często połączone z mieszkalnymi, miały zwykle charakter obronny i dlatego były lokalizowane na wzniesieniach o ograniczonej powierzchni nadającej się do zabudowy. W wielu publikacjach (np. Bober, 2008; Świechowski, 2009) notuje się krótki czas ich użytkowania. Można przypuszczać, że w licznych przypadkach przyczyną tego były katastrofy budowlane, a brak ich śladów jest spowodowany powtórным użyciem materiału w następnych budowlach, wznoszonych często w tym samym położeniu z uwagi na brak miejsca.

W artykule opisano ślady dwóch katastrof budowlanych, rozpoznane przez archeologów w Chełmie koło Lublina oraz w nadnidziańskiej Wiślicy. Prawdopodobne przyczyny tych nieszczęśliwych zdarzeń przedstawiono na tle budowy geologicznej podłoża wznoszonych murów i dostępności w okolicy skał podatnych do budowania. Rozważano również konsekwencje hipotetycznych katastrof kolegiaty opatowskiej i romańskich budowli krakowskich.

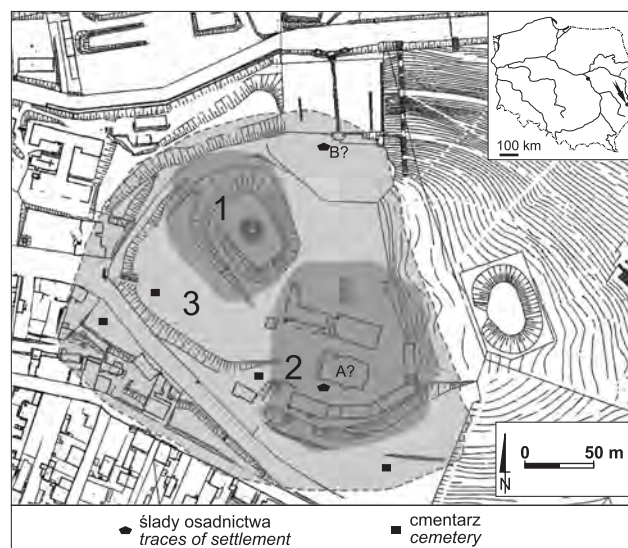
ŚLADY KATASTROF

Na Wysokiej Górze w Chełmie

W Chełmie archeolodzy rozpoznali ślady katastrof kamiennych budowli romańskich na kilkunastometrowym wzniesieniu zwanym Wysoką Górką, usytuowanym w szczytowej partii Góry Katedralnej. Wzniesienie to ma płaską górną powierzchnię o trapezowatym kształcie i wymiarach

40 × 60 m (ryc. 1). W jego centralnej części, w miejscu rozebranej cerkwi, usypano w 1928 r. Kopiec Wolności (ryc. 2). Prace archeologiczne prowadzono tu z różną intensywnością od początku XX w., a ich wyniki podsumowano w publikacji pod redakcją Andrzeja Buko (2019).

Romańska działalność budowlana na Wysokiej Górze trwała tylko 14 lat i została przerwana wielkim pożarem

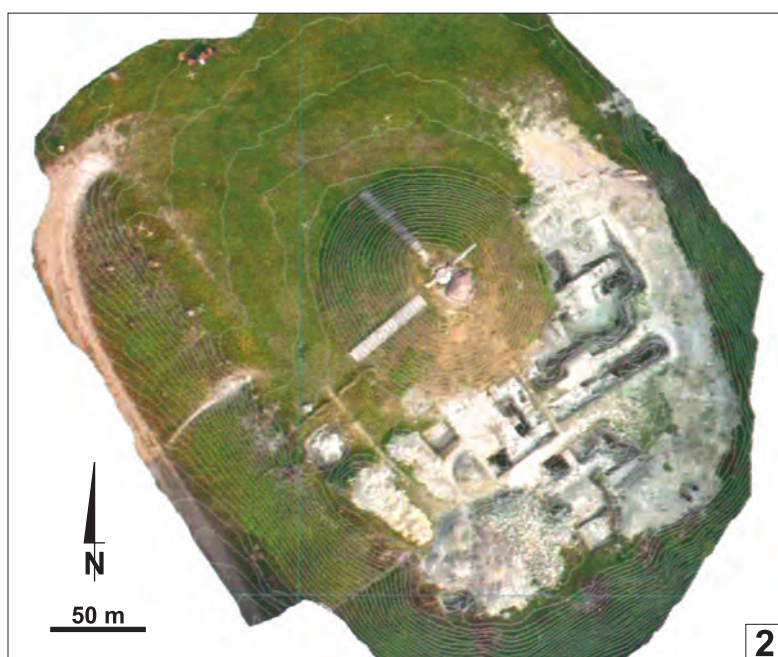


Ryc. 1. Chełm. Zarys Góry Katedralnej z Wysoką Górką (1), Katedrą NMP (2, A?), zapleczem osadniczym (3) i cerkwią (B?). Według Dzieńkowskiego, 2014

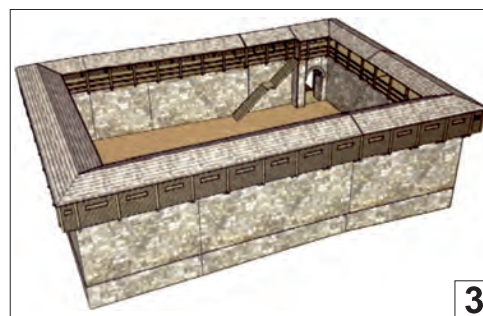
Fig. 1. Chełm. Sketch of the Cathedral Hill, including High Hill (1), Cathedral of the Blessed Virgin Mary (2, A?), hamlet (3) and orthodox church (B?). After Dzieńkowski, 2014

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; bromowicz@agh.edu.pl; jmagiera@agh.edu.pl; ORCID ID: J. Bromowicz – 0000-0002-7179-9564; J. Magiera – 0000-0002-2499-0251

² Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; ul. J. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków; figarska@min-pan.krakow.pl; ORCID ID: B. Figarska-Warchoł – 0000-0002-6962-1775



2



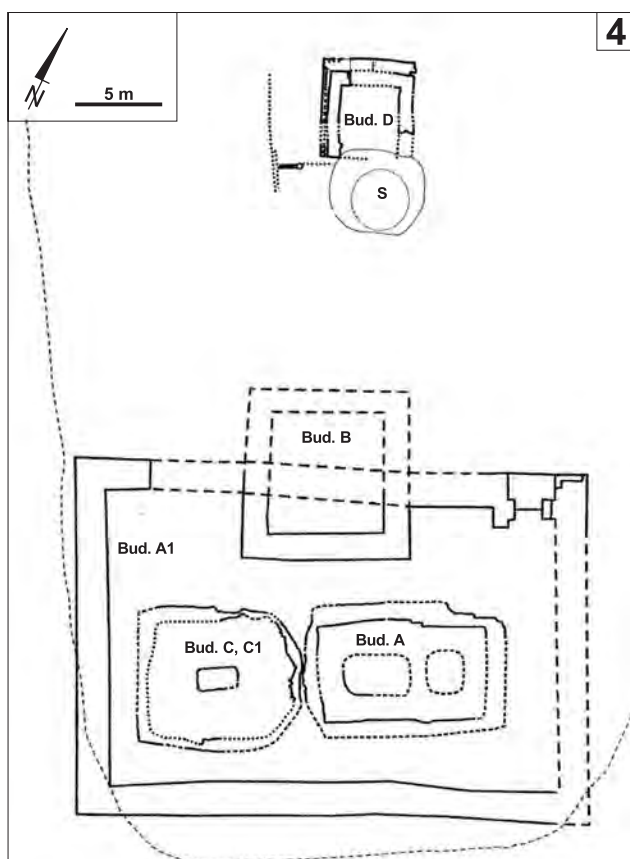
3

Ryc. 2. Chełm. Kopiec Wolności na Wysokiej Górze w trakcie ostatnich prac archeologicznych. Zdjęcie lotnicze (wg Buko, 2019)

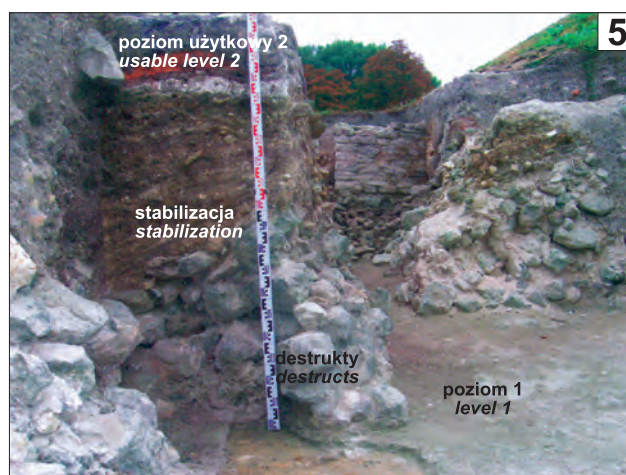
Fig. 2. Chełm. The Freedom Mound on the High Hill during recent archaeological excavations. Aerial photograph (after Buko, 2019)

Ryc. 3. Chełm. Rekonstrukcja muru na Wysokiej Górze. Widok od północnego zachodu (wg Buko, 2019)

Fig. 3. Chełm. Reconstruction of the wall on the High Hill. View from the northwest (after Buko, 2019)



4



5

Ryc. 5. Chełm. Wysoka Górka. Destrukty muru (Bud. A1 na ryc. 4) z ciosów glaukonitytowych i przykrywający je nasyp. Fot. T. Dzieńkowski

Fig. 5. Chełm. The High Hill. Destructs of the wall (Bud. A1 in Fig. 4) built of the glauconite blocks, and the covering scree. Photo by T. Dzieńkowski

do 3 m, okalającego prostokątny obszar o długości 33 m i szerokości 22,5 m (ryc. 3), na którym znajdowały się dwie budowle (ryc. 4). Jedną z nich była zapewne wieża obronno-mieszkalna o wymiarach 10 × 12 m, a drugą świątynia o długości 14 m i szerokości 9 m, podzielona na nawę oraz prezbiterium (Bukowska, 2019). Nie ma dowodów na zakończenie całej inwestycji.

Można przypuszczać, że zawalenie się wschodniej części ogrodzenia (ryc. 5) spowodowało konieczność budowy w północnej części Wysokiej Górki murów kwadratowej budowli o boku 5,5 m (ryc. 4; Bud. D), której mieszkalny charakter potwierdzają artefakty opisywane przez archeologów (Łukomskyj, 2019). Ta budowla również uległa katastrofie, manifestowanej zawalonym murem (ryc. 6). Ślady katastrof zostały zasypane, a ostatnia, romańska wieża mieszkalna (ryc. 4; Bud. B) została wzniesiona w centrum Wysokiej Górki. Na jej ruinach, widocznych

Ryc. 4. Chełm. Plan budowli romańskich na Wysokiej Górze: **Bud. A1** – mur; **Bud. A** – kościół; **Bud. B** – centralna wieża mieszkalna; **Bud. C, C1** – wieża mieszkalna; **Bud. D** – północna budowla kwadratowa; **S** – studnia (wg Dzieńkowskiego, Petryka, 2019)

Fig. 4. Chełm. Romanesque edifices of the High Hill: **Bud. A1** – wall; **Bud. A** – church; **Bud. B** – central dwelling tower; **Bud. C, C1** – dwelling tower; **Bud. D** – northern square edifice; **S** – well (after Dzieńkowski, Petryka, 2019)

w 1256 r. W tym czasie nastąpiły dwie katastrofy budowlane. Pierwsza, w południowej części wzgórza, polegała na zawaleniu się muru o grubości 2 m i zachowanej wysokości



Ryc. 6. Chełm. Wysoka Górka. Destrukty muru budowli kwadratowej z części północnej (Bud. D), 2019. Fot. J. Łukomski
Fig. 6. Chełm. The High Hill. Destrukts of the square edifice's wall from the north side (Bud. D), 2019. Photo by J. Łukomski

jeszcze w XIX w., postawiono cerkiew, a następnie usypa-
 no wspomniany Kopiec Wolności (Buko, 2019).

Wiślica

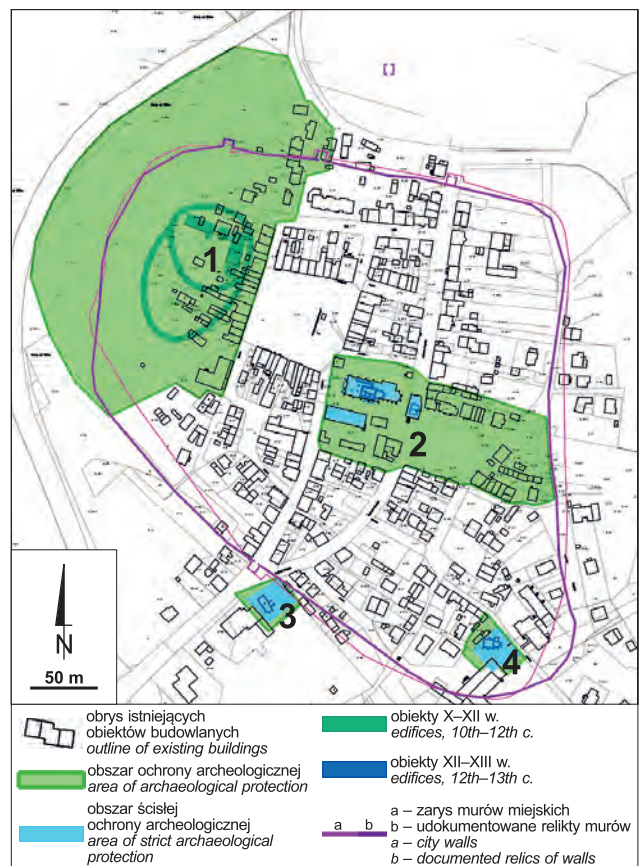
W Wiślicy ślady katastrof są związane z budową dwóch
 palatiów w miejscu zajmowanym niegdyś przez wczesno-
 średniowieczne grodzisko. Obszar ten został rozpoznany
 w wyniku kilku etapów prac archeologicznych, prowadzo-
 nych od lat 60. ubiegłego wieku na terenie współczesnej
 zabudowy (Grzybkowski, 1997; Glińska, 2018; Glińska,
 Bukowska, 2020). Jest to około 10-metrowe wzniesienie
 w obrębie gipsowego ostańca górującego nad obszarem
 zalewowym Nidy, zwane Regią, kulminacją lub zamkiem
 (ryc. 7). Odkryto tam mury dwóch prostokątnych budowli
 (prostopadłych do siebie) z rotundami znajdującymi się na
 przedłużeniu ich dłuższych osi (ryc. 8). Mury
 wzniesiono zgodnie z przebiegiem zniwelowa-
 nej fosy otaczającej dawne grodzisko.

Katastrofie budowlanej uległa zachodnia
 ściana północnego palatium o długości ok. 10 m
 i grubości do 1,5 m. Pozostałością po niej jest



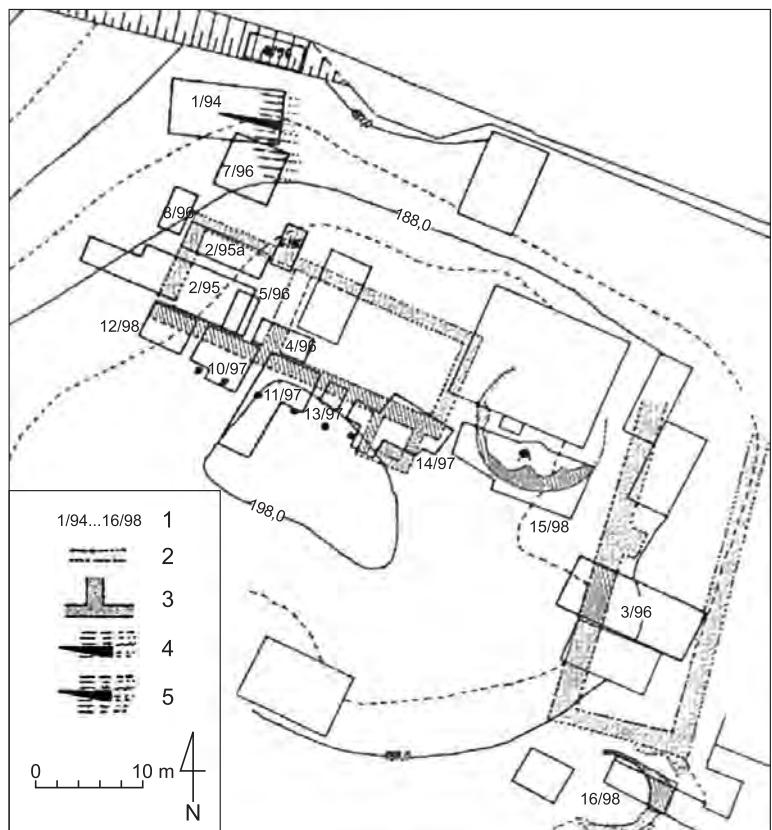
Ryc. 8. Wiślica, Regia. Rozmieszczenie murów
 budowli wczesnośredniowiecznych: **1** – numery
 wykopów badawczych z lat 1994–1998; **2** – ze-
 społy palatiale wg rekonstrukcji Z. Wartołow-
 skiej; **3** – zespoły palatiale – relikty budowli
 udokumentowane w wykopach z lat 1995–1998;
4 – słupy podcienia wg rekonstrukcji Z. War-
 tołowska, niepotwierdzone w wykopach z 1997 r.;
5 – relikty wału fazy I i II, uchwycone w wykopach
 z lat 1994 i 1996, z kierunkiem przebiegu palisady
 (wg Stali, 2007)

Fig. 8. Wiślica, Regia. The arrangement of the walls
 of early medieval buildings: **1** – numbers of the
 excavations from 1994–1998; **2** – palatial
 buildings reconstructed by Z. Wartołowska; **3** –
 palatial buildings documented in excavations from
 1995–1998; **4** – undercutting columns recon-
 structed by Z. Wartołowska, not proven in
 excavations in 1997; **5** – relics of the rampart of
 phase 1 and 2, proven by excavations in 1994
 and 1997; direction of the palisade is shown
 (after Stala, 2007)



Ryc. 7. Plan Wiślicy: **1** – obszar grodu Regia; **2** – teren kolegiacki;
3 – późnośredniowieczny Kościół św. Ducha; **4** – Kościół św.
 Marcina (wg Kołodziejczyk, Przygodzkiego, 2021)

Fig. 7. Sketch map of Wiślica: **1** – Regia stronghold area; **2** –
 collegiate area; **3** – late medieval Church of the Holy Spirit; **4** –
 Church of St. Martin (after Kołodziejczyk, Przygodzki, 2021)



rumosz kamienny zalegający zgodnie ze spadkiem zbocza na zachód od linii muru. Kamienne fragmenty muru zawierają resztki zaprawy wapiennej, natomiast mur wzniesiony później ma zaprawę gipsową. Przypuszcza się też, że materiał kamienny zawalonego muru posłużył do wypełnienia dna rotundy z konchami, która towarzyszy palatium. Potwierdza to różnica zapraw: gipsowa pokrywająca przebudowaną rotundę i wapienna w ponownie wykorzystanym rumoszu (Bukowska, 2021).

Kolegiata pw. św. Marcina w Opatowie

Ślady prawdopodobnych katastrof budowlanych zaznaczają się też w murach zachowanej do dziś, monumentalnej opatowskiej Kolegiaty pw. św. Marcina z Tours (Świechowski, 2009). Budowla ta w stosunkowo krótkim czasie po wzniesieniu została przebudowana, również w stylu romańskim. Zmiany nastąpiły głównie w fasadzie zachodniej, gdzie między innymi zamurowano pierwotny portyk, a przebudowane wieże o wysokości murów ok. 26 m mają różną architekturę (ryc. 9 i 10; Jarzewicz, 2009). Południowa zawiera cokół, gzymsy, biforia i podział na kondygnacje, północna zaś w części romańskiej, związanej ze ścianami dawnego portyku, nie ma cokołu i lizen, a architektura jej wyższej części zdecydowanie różni się od obserwowanej w wieży południowej. Kamienny materiał tej



Ryc. 9 i 10. Zachodnia fasada kolegiaty opatowskiej. Widoczne łączenie romańskiego muru wieży północnej z murem odbudowanym. Fot. J. Magiera

Fig. 9 and 10. Western facade of the Opatów Collegiate Church. Visible connection of the northern tower's Romanesque wall with the rebuilt wall. Photo by J. Magiera

wieży ma odmienną kolorystykę oraz wielkość i jest mniej starannie ułożony. Zapewne jest śladem katastrofy budowlanej.

Kościół św. Benedykta na Wzgórzu Lasoty w Krakowie

Liczne i prędkie przebudowy pierwszych kamiennych budowli krakowskich też mogły być spowodowane katastrofami. Dobrym przykładem jest tu Kościół św. Benedykta na krakowskim Wzgórzu Lasoty (Rajman, 1994). Pierwotnie była to przedromańska, jednoapsydowa rotunda zbudowana z płytkowych piaskowców karpaccich. Na jej fundamentach wzniesiono romański kościół o prostokątnej nawie i kwadratowym prezbiterium. Do budowy

jego murów użyto wtórnie piaskowców płytkowych (Czuskiewicz, 2016; Bromowicz, Magiera, 2019). Ważne jest, że w wyniku przebudowy właściwie nie zmieniła się pojemność świątyni (ryc. 11).

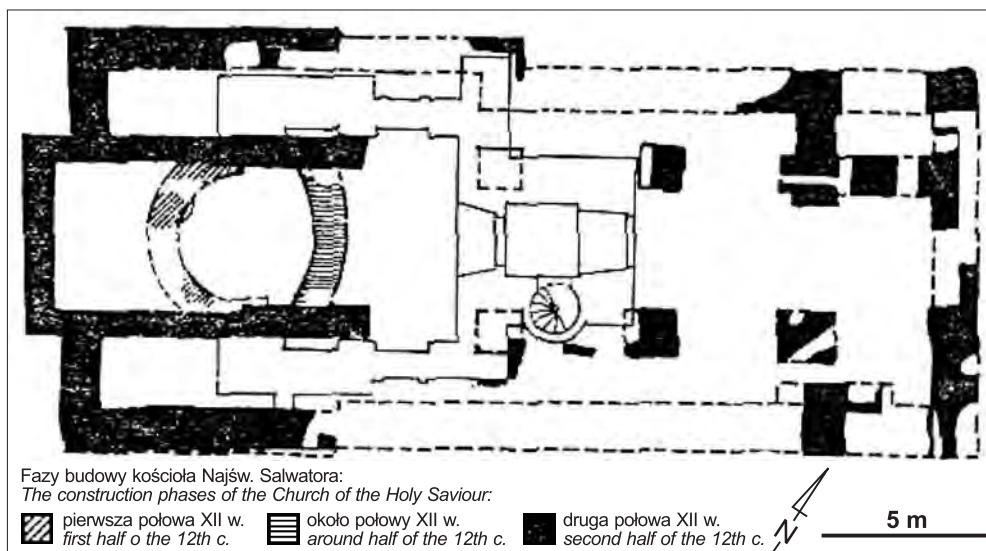
Katedra chrobrowska i romańska rotunda na Wawelu

Podobne zdarzenia miały miejsce na Wawelu, gdzie w krótkich odstępach czasu następowały zmiany w pierwszych kamiennych budowlach. Przykładami mogą tu być, zbudowane głównie z wapiennych płytek, katedra chrobrowska i położona po jej północnej stronie rotunda (baptysterium?) o wymiarach podobnych do rotundy ze Wzgórza Lasoty, którą również przebudowano na kościół o prostokątnej nawie i kwadratowym prezbiterium. Do budowy



Ryc. 11. Kraków. Kościół św. Benedykta. Fot. J. Bromowicz

Fig. 11. Kraków. Church of St. Benedict. Photo by J. Bromowicz



Ryc. 12. Kraków. Kolejne fazy budowy Kościoła Najświętszego Salwatora (wg Radwańskiej, 1993)

Fig. 12. Kraków. The construction phases of the Church of the Holy Saviour (after Radwańska, 1993)

kątej nawie i apsydzie (Firlet, Pianowski, 1985, 1989, 2005). Na Wawelu w krótkim czasie po wzniesieniu przebudowano także: rotundę zwaną kościołem B i świątynią poprzedzającą Kościół pw. św. Gereona (Firlet, Pianowski, 2000). Trzykrotnie w ciągu 50 lat przebudowano również romański Kościół Najświętszego Salwatora na krakowskim Zwierzyńcu (ryc. 12; Radwańska, 1993).

SKAŁY UŻYTE W MURACH BUDOWLI I ICH WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE

Mur na Wysokiej Górcie wzniesiono z miejscowych glaukonitytów w technice *opus emplectum*, która polega na układaniu zewnętrznej i wewnętrznej części muru z ociosanych bloków kamiennych lub cegieł i wypełnianiu przestrzeni między ścianami kruszonym kamieniem zalany zaprawą (Gazda i in., 2019). Glaukonityty występujące w rejonie Chełma są zielonymi skałami osadowymi, składającymi się z ziaren glaukonitu we frakcji piaskowej, połączonych spoiwem węglanowo-krzemionkowym, o znikomym udziale kwarcu, natomiast dużym udziale okruchów pochodzenia organicznego oraz gez i opok nadających im białą plamistość (Gazda i in., 1992). Wnętrze muru wypełniono bryłami opok, margli i glaukonitytów.

W Wiślicy wykorzystano przede wszystkim skały występujące w najbliższej okolicy. Są to obecne w podłożu budowli górnokredowe (górną kampan), jasnoszare opoki przewarstwione marglami, a miejscami także wapieniami oraz leżące bezpośrednio w poziomie posadowienia mioceńskie gipsy. Stosunkowo nieduży udział CaCO_3 w tych skałach (w marglach ok. 60%, w opokach 70%) w połączeniu z dużym udziałem minerałów ilastych wpływa na ich niewielką wytrzymałość na ściskanie (tab. 1).

W większej odległości od wiślickiej kulminacji (kilka kilometrów) są usytuowane wychodnie organodetrytycznych wapieni badeńskich i sarmackich, zastosowanych do budowy murów romańskich. We wszystkich opisach tych murów jest podkreślany znaczny udział pelitycznych margli masywowych z Pełczysk, których wychodnie występują po przeciwnej stronie Nidy, a mniejszy – skał pochodzących z samej Wiślicy (Weber-Kozińska, 1997).

W Opatowie romańskie mury wzniesiono z ciosów bardzo drobnoziarnistych, szarobiałych i szarobrazowych piaskowców o charakterystycznych dziurkach po korzeniach roślin w pozycji wzrostu. Piaskowce te mają ubogie spoiwo krzemionkowe lub krzemionkowo-ilaste, zwykle kontaktowo-porowe (Bromowicz, Magiera, 2023). Zapewne pochodzą z wychodni w miejscowości Podole, znajdującej się ok. 5 km na północny wschód od kolegiaty (Pieńkowski, 1983). Odślaniają się tam gruboławicowe piaskowce dolnojurańskiej formacji skłobskiej, zawierające obfity, rozproszony detrytus roślinny (Karaszewski, 1962).

Najstarsze kamienne mury budowli krakowskich zbudowano ze zwiezłych piaskowców o podzielności cienkopłytovej. Są to głównie dolnokredowe, drobnoziarniste piaskowce karpackie o spoiwie wapiennym lub krzemionkowym i sporym udziale igieł gąbek. Wyłącznie z takich piaskowców wzniesiono, w technice *opus incertum* (mur w całym przekroju zbudowany z dość nieregularnie ułożonych płytek piaskowcowych), Rotundę św. św. Feliksa i Aduakta oraz lica murów rotundy Kościoła św. Benedykta (ryc. 13). Nieco później pojawiły się w użyciu wapienie



Ryc. 13. Płytki piaskowcowe w murze Rotundy św. św. Feliksa i Aduakta na Wawelu. Fot. J. Magiera

Fig. 13. Sandstone tiles in the wall of the Rotunda of St. Felix and Aduactus at Wawel Castle. Photo by J. Magiera



Ryc. 14. Płytki wapienne i pojedyncze piaskowcowe w murze katedry chrobrowskiej na Wawelu. Fot. J. Magiera

Fig. 14. Limestone and individual sandstone tiles in the Chrobry Cathedral wall on Wawel Castle. Photo by J. Magiera

o podzielności cienkopłytovej. Są to miejscowe, pelityczne wapienie górnojurańskie, które wraz z pojedynczymi piaskowcami cienkopłytoowymi zastosowano m.in. w wawelskiej katedrze chrobrowskiej (ryc. 14; Bromowicz, Magiera, 2015).

Mury kolejnych budowli, o licach z prostokątnych kamieni układanych w warstwy o różnej grubości, stawiano z użyciem piaskowców zwiezłych o podzielności grubopłytovej (np. Kościół św. Gereona) lub z wapieni



Ryc. 15. Kredowe piaskowce karpackie o podzielności grubopłytkowej w murze wykonanym w technice *opus emplectum*. Kościół św. Gereona na Wawelu: czerwone kółko – miejsce pobrania próbki. Fot. J. Magiera

Fig. 15. Cretaceous Carpathian thick-plated sandstones in a wall built using the *opus emplectum* technique. St. Gereon's Church at Wavel Castle: red circle – sampling site. Photo by J. Magiera



Ryc. 16. Jurajskie wapienie o nieregularnej podzielności w murze Kościoła św. Wojciecha na krakowskim rynku. W narożach są miękkie, karpackie piaskowce ciosowe. Fot. J. Magiera

Fig. 16. Jurassic limestones with irregular parting in the wall of St. Adalbert's Church in Kraków's Market Square. Soft, Carpathian sandstones are placed in the corners. Photo by J. Magiera

o nieregularnej podzielności (np. tzw. katedra hermanowska; ryc. 15, 16). Pierwsze z wymienionych są zwykle dolnokredowymi, drobno- i średnioziarnistymi piaskowcami karpackimi, drugie zaś – górnourajskimi, miejscowymi, głównie detrytycznymi, wapieniami uławiconymi. Jako ostatnie skały używane na większą skalę do wznoszenia romańskich budowli Krakowa należy wymienić karpackie, miękkie piaskowce ciosowe z przełomu kredy i paleogenu (piaskowce istebniańskie; ryc. 16). Są one różnoziarniste o ubogim spoiwie krzemionkowo-ilastym (Bromowicz, Magiera, 2015).

PRZYCZYNY KATASTROF

Wymienione w niniejszym artykule katastrofy budowlane nastąpiły na skutek posadowienia romańskich murów na podłożu o słabej nośności lub wykorzystania do ich konstrukcji skał o nieodpowiednich właściwościach fizyczno-mechanicznych (tab. 1). Obie te przyczyny wystąpiły w Chełmie i Wiślicy.

Chełmska Góra Katedralna jest ostańcowym wzniesieniem należącym do Pagórów Chełmskich. W tym rejonie tego rodzaju formy geomorfologiczne powstały z kredowych margli, opok oraz kredy piszącej i zostały przykryte neogeńskimi, zsylikowanymi piaskami (w stropowych partiach z przeławieniami piaskowców), a także glaukonitytami i muszlowcami (Turnau-Morawska, 1949; Harasimiuk, Rutkowski, 1972; Harasimiuk, 1975). Na podstawie wyników wierceń wykonanych na Wysokiej Górcie stwierdzono obecność tych skał w podłożu nasypu stanowiącego rumosz wapienno-ceglany. Przypuszcza się, że pierwotnie skały podłoża były przedmiotem eksploatacji, a powstałe

zrobki zostały wyrównane skałami o słabych właściwościach fizyczno-mechanicznych, co utrudniało konsolidację podłoża (Buko, 2019). Bez wątpienia znaczenie miały też bardzo zmienne właściwości fizyczno-mechaniczne glaukonitytu, który został użyty zarówno do budowy zawalonego muru, jak też fundamentu drugiej rezydencji.

Katastrofa w Wiślicy została wywołana złą jakością materiału skalnego użytego do budowy muru. Opoki i margle kredy oraz wapienie miocenu charakteryzuje niska wytrzymałość na ściskanie. Na dodatek skały te ulegają nasiąkaniu wodą, co powoduje zmniejszenie ich wytrzymałości o ok. 50%, przez co ulegają dezintegracji spowodowanej procesami chemicznymi i zamrozem, a użyto ich do budowy części fundamentowej.

Brak drenażu poziomu fundamentowego, często spotykany w zabytkowych obiektach, sprzyjał degradacji zaprawy na skutek zmian poziomu wód gruntowych (Przewłócki i in., 2021). Wody gruntowe nasycone nadmiarem dwutlenku węgla działają korozyjnie na zaprawę wapienną. Niszczeniu struktury tej zaprawy sprzyjało także działanie ciśnienia krystalizacyjnego związanego z obecnością siarczanów wapnia w wodach gruntowych (Wikłacz, 2018).

W Wiślicy nie bez znaczenia dla trwałości murów było także podłożo budowli, którym była zniwelowana fosa dawnego grodziska z epoki plemiennnej, wypełniona gliną z okruskami węgla drzewnego. Można przypuszczać, że ówczesni budowniczowie mogli nie zdawać sobie sprawy z istoty odpowiedniej konsolidacji gruntu nasypowego. Nośność gruntów mogła być dodatkowo obniżona przez pory, a nawet kawerny obecne w warstwach gipsowych.

W Opatowie wzniesienie, na którym postawiono kolegiatę, podobnie jak obszar miasta, pokrywa gruba na ponad

10 m warstwa lessów stadiau maksymalnego zlodowacenia północnopolskiego (Lindner, 2005). Starsze lessy są bezwapniste, natomiast w młodszych zawartość CaCO₃ dochodzi do ok. 5%, jednak w części stropowej uległy one

odwapnieniu i zaglinieniu (Grabowska-Olszewska, 1963). Brak węgla wapnia dodatkowo osłabił strukturę podłoża, na którym posadowiono kolegiatę. Te mało spiste grunty są bardzo wrażliwe na działanie wody, która,

Tab. 1. Podstawowe właściwości fizyczno-mechaniczne skał wykorzystanych do wzniesienia opisanych budowli romańskich
Table 1. Basic physical and mechanical properties of rocks used to construct the Romanesque buildings described

Skała <i>Rock</i>	Gęstość pozorna <i>Apparent density</i> [Mg/m ³]	Nasiąkliwość wagowa <i>Water absorption</i> [%]	Porowatość całkowita <i>Total porosity</i> [%]	Mrozoodporność [cykle] <i>Freezing resistance</i> [cycles]	Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe <i>Uniaxial compressive strength</i> [MPa]	
					w stanie powietrzno- suchym <i>air-dry</i>	po nasyceniu wodą <i>water saturated</i>
Wapienie litotamniowe neogeńskie ² <i>Lithothamnium limestone,</i> <i>Neogene²</i>	1,70–2,08	7,7–16,1	23,4–37,4	20–25	5–40	4–21
Glaukonityty eoceno-oligoceni okolice Chełma ⁵ <i>Glaconitite,</i> <i>Eocene-Oligocene,</i> <i>from vicinity of Chełm⁵</i>	b.d.	wysoka <i>high</i>	wysoka <i>high</i>	niska <i>low</i>	stosunkowo miękkie, łatwe w obróbce <i>soft, easy to process</i>	b.d.
Opoki górno-kredowe Wyżyny Lubelskiej ² <i>Opoka, Upper Cretaceous,</i> <i>from the Lublin Upland²</i>	1,30–1,50	24,4–35,1	44,2–50,7	17–21	17–28	7–18
Margle górno-kredowe z Pelczysk ³ <i>Marl, Upper Cretaceous,</i> <i>from Pelczyska³</i>	1,70–1,91	13,0–17,0	> 29	b.d.	? 4,9	0,4–0,9
Piaskowce istebniańskie kredowo-paleogeńskie, Karpata ^{2,7} <i>Istebna sandstone,</i> <i>Cretaceous-Paleogene</i> <i>from Carpathians^{2,7}</i>	? 2,59	0,8–3,5	4,3–12,2	min. 48	63–107	34–71
Piaskowce Igockie przelomu dolnej i górnej kredy, Karpata ² <i>Lgota sandstone, Lower/Upper</i> <i>Cretaceous, from Carpathians²</i>	? 2,60	? 1,0	? 3,7	min. 25	? 92	? 75
Piaskowce gezwowe dolno-kredowe, Karpata ² <i>Gaize sandstone, Lower</i> <i>Cretaceous, from Carpathians²</i>	? 2,35	? 3,4	? 11,6	min. 25	? 125	? 127
Piaskowce grodziskie dolno-kredowe, Karpata ² <i>Grodziszczce sandstone, Lower</i> <i>Cretaceous, Carpathians²</i>	2,58–2,62	0,7–0,8	2,6–3,6	min. 25	80–88	? 66
Wapienie płytowe górnourajskie Jury Krakowsko-Częstochowskiej ^{1,4} <i>Platy limestone,</i> <i>Upper Jurassic, from</i> <i>Kraków-Częstochowa Jura^{1,4}</i>	? 2,47	0,6–16,7	6,6–34,2	< 25	13–98	? 35
Wapienie uławiczone i skaliste, górnourajskie Jury Krakowsko-Częstochowskiej ^{1,4} <i>Bedded limestone, Upper</i> <i>Jurassic, from</i> <i>Kraków-Częstochowa Jura^{1,4}</i>	2,44–2,66	0,4–7,4	1,1–26,3	min. 25	28–162	34–52
Piaskowce dolnojurajskie formacji skłobskiej ⁶ <i>Sandstone, Lower Jurassic,</i> <i>Skłoby Formation⁶</i>	1,97–2,24	4,9–8,0	b.d.	min. 25	15–63	b.d.

Źródła danych / Sources of the data: ¹ – Dębski, 1966; ² – Kozłowski, 1986; ³ – Penkala za Weber-Kozińska 1997; ⁴ – Bromowicz, Figarska-Warchoł, 2016; ⁵ – Gazda, 2017; ⁶ – Guzik, 2017; ⁷ – www.arkam.krakow.pl.; **b.d.** – brak danych / no data



Ryc. 17. Płytki fundament i mur najstarszego Kościoła Najświętszego Salwatora w Krakowie. Fot. J. Magiera
Fig. 17. Shallow foundation and wall of the oldest Church of the Holy Saviour in Kraków. Photo by J. Magiera



Ryc. 18. Fundament najmłodszego romańskiego Kościoła Najświętszego Salwatora w Krakowie. Fot. J. Magiera
Fig. 18. The foundation of the youngest Romanesque Church of the Holy Saviour in Kraków. Photo by J. Magiera

gdy przepływa, wywołuje zjawisko sufozji i zwiększa ich porowatość. Po przekroczeniu 42% porowatości grunty ulegają osiadaniu zapadowemu (Kolano, Cała, 2011). Obecność nasiąkliwych gruntów w strefie przemarzania sprzyja natomiast zjawisku wysadzinowania. Ponadto lessy o małej zawartości frakcji ilowej (zwykle ok. kilku procent) charakteryzuje niewielki wskaźnik plastyczności,

przez co łatwo upłynniają się na skutek stosunkowo niewielkiego wzrostu wilgotności (Malinowski, 1971; Nepel-ski, 2021). Wymienione cechy gruntów sprzyjają występowaniu ruchów masowych w rejonie Opatowa (Borecka, Kaczmarczyk, 2007).

Widoczna na zachodniej fasadzie kolegiaty opatowskiej linia kontaktu między zachowanym murem wieży północnej a murem nowo wzniesionym wskazuje na upadek pierwotnej wieży w kierunku zachodnim, zgodnym z nachyleniem lessowego podłoża budowli. Pochylenie się w kierunku zachodnim ściany między wieżami kolegiaty zanotowano też w 1911 r. (Świechowski, 1985). Być może do katastrofy przyczyniło się też wykonanie romańskiej krypty za zamurowanym portykiem przylegającym do wieży, co osłabiło jej fundamenty.

W Krakowie krótkotrwałe użytkowanie najstarszych kamiennych budowli, przerwane przypuszczalnymi katastrofami, było zapewne skutkiem zbyt płytkich i słabych fundamentów. Wapienie jurajskie, nie w pełni odporne na działanie warunków atmosferycznych (tab. 1), a stosowane w poziomie fundamentu, były narażone na rozwój spękań wywołanych zamrozem, co z czasem osłabiało ich nośność (Bromowicz, Figarska-Warchoł, 2010). Przykładem może tu być wspomniany Kościół Najświętszego Salwatora w Krakowie, który pierwotnie miał płytkie fundamenty zbudowane z brył wapiennych o średnicy rzędu 8 cm, spojonych zaprawą wapienną i lessom z drobnymi okruchami wapieni (ryc. 17). Po rozbudowie fundamentu tego kościoła ma głębokość 3 m i także jest zbudowany z wapiennych brył (ryc. 18), ale o przeciętnych średnicach wyraźnie zwiększających się ku górze od 16 do 30 cm (Bromowicz, Magiera, 2015).

WNIOSKI

- ❑ Wznoszenie pierwszych kamiennych budowli na ziemiach polskich przysparzało budowniczym wielu problemów związanych z brakiem odpowiedniej wiedzy i umiejętności wykorzystywania nowego rodzaju materiału.
- ❑ W południowej Polsce romańskie budowle często ulegały katastrofom budowlanym.
- ❑ Materiał kamienny pozostały po katastrofach skrzętnie wykorzystywano ponownie do odbudowy, zazwyczaj w miejscu poprzedniej budowli.
- ❑ Powodem katastrof były najczęściej: nieskonsolidowane podłoże, złe właściwości fizyczno-mechaniczne zastosowanych skał oraz płytkie i słabe fundamenty.

Autorzy pragną wyrazić wdzięczność Recenzentom za ich trud włożony w ocenę pracy i cenne uwagi. Praca finansowana z funduszy na badania statutowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w 2025 r.

LITERATURA

- BOBER M. 2008 – Architektura przedromańska i romańska w Krakowie. Badania interpretacje. Wyd. Fundacja Rzeszowskiego Ośrodka Archeologicznego, Instytut Archeologii Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów.
- BORECKA A., KACZMARCZYK R. 2007 – Geologiczno-inżynierska ocena zagrożeń osuwiskowych w utworach lessowych południowo-wschodniej Polski. *Geologos*, 11: 347–356.
- BROMOWICZ J., FIGARSKA-WARCHOŁ B. 2010 – Raport z badań nad zmianami właściwości skał wywołanych zamrozem. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 130. *Studia i Materiały*, 37: 41–55.

- BROMOWICZ J., FIGARSKA-WARCHOŁ B. 2016 – Marmur Błogosławionej Salomei – odmiana wapienia górnourajskiego i jego rola w małej architekturze. *Przegląd Geologiczny*, 64 (10): 774, 848–860.
- BROMOWICZ J., MAGIERA J. 2015 – Kamienie wczesnośredniowiecznych budowli Krakowa. Ich pochodzenie na tle geologii miasta. Wyd. AGH, Kraków.
- BROMOWICZ J., MAGIERA J. 2019 – Historia zapisana w kamieniu – kościół św. Benedykta. *Nowy Kamieniarz*, 5, (111): 82–85.
- BROMOWICZ J., MAGIERA J. 2023 – Historia zapisana w kamieniu romańskiej kolegiaty pw. św. Marcina w Opatowie. *Przegląd Geologiczny*, 71 (1): 12–18.
- BUKO A. 2019 – Złożone epizody dziejów rezydencji królewskiej na Górze Katedralnej w Chełmie: próba podsumowania wyników badań interdyscyplinarnych. [W:] Buko A. (red.), *Średniowieczny zespół rezydencjonalny na Górze Katedralnej w Chełmie*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa: 379–396.
- BUKOWSKA A. 2019 – Opis reliktów architektury: część południowa Wysokiej Góry. [W:] Buko A. (red.), *Średniowieczny zespół rezydencjonalny na Górze Katedralnej w Chełmie*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa: 153–172.
- BUKOWSKA A. 2021 – Nowe badania nad wczesnośredniowieczną architekturą kamienną w Wiślicy. [W:] Glińska N., Bukowska A., *Wczesnośredniowieczna Wiślica Urbs famosissima in regno Lechitarum*. Nowe badania nad wczesnośredniowieczną architekturą kamienną w Wiślicy. Instytut Archeologii i Etnologii PAN: 299–349.
- CZUSZKIEWICZ J. 2016 – Kościół pw. św. Benedykta w Krakowie w świetle najnowszych badań. [W:] Janiak T., Stryniak D. (red.), *Architektura sakralna w początkach państwa polskiego (X–XIII wiek)*. Materiały z sesji naukowej, Gniezno 25–27 listopada 2015 r. Muzeum Początków Państwa Polskiego w Gnieźnie: 85–115.
- DEBSKI W. (red.) 1966 – Monografia złóż materiałów kamiennych w Polsce i ich przydatność do celów drogowych. Okręg Południowo-Centralny Polski. Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Drogowej, Warszawa.
- DZIENKOWSKI T. 2014 – Badania archeologiczno-architektoniczne na terenie średniowiecznej rezydencji książęcej w północnej części Wysokiej Góry w Chełmie. *Res Historica*, 38: 201–214.
- DZIENKOWSKI T., PETRYK V. 2019 – Analiza stratygraficzna i zmiany topografii Wysokiej Góry. *Stratygrafia Wysokiej Góry w świetle badań wykopaliskowych z lat 2010–2018*. [W:] Buko A. (red.), *Średniowieczny zespół rezydencjonalny na Górze Katedralnej w Chełmie*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa: 95–120.
- FIRLET J., PIANOWSKI Z. 1985 – Odkrycie dwu wczesnośredniowiecznych kościołów w rejonie tzw. bastionu Władysława IV na Wawelu. *Sprawozdania Archeologiczne*, 37: 153–167.
- FIRLET J., PIANOWSKI Z. 1989 – Z nowych badań nad wczesnośredniowieczną architekturą murowaną w Krakowie. *Krzysztofor*, 16: 55–65.
- FIRLET J., PIANOWSKI Z. 2000 – Przemiany architektury rezydencji monarszej oraz katedry na Wawelu w świetle nowych badań. *Kwart. Arch. Urban.*, 44 (4): 207–236.
- FIRLET J., PIANOWSKI Z. 2005 – Z rozważań nad planem najstarszej katedry krakowskiej. [W:] *Lapides Viventes*. Zaginiony Kraków wieków średnich. Księga dedykowana Profesor Klementynie Żurawskiej. Instytut Historii Sztuki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego: 57–66.
- GAZDA L. 2017 – Skały Lubelszczyzny w budownictwie i architekturze regionu – glaukonit. *Budownictwo i Architektura*, 16 (3): 143–154.
- GAZDA L., HARASIMIUK M., KRZOWSKI Z. 1992 – Litogeneza warstw z glaukonitem w górnej kredzie i paleocenie Pagórów Chełmskich (Wyżyna Lubelska, E Polska). *Annales UMCS*, 47 (1), ser. B: 1–28.
- GAZDA L., GOŁUB S., BEVZ M. 2019 – Surowce, materiały i technologie trzynastowiecznego zespołu rezydencjonalnego na Górze Katedralnej w Chełmie. [W:] Buko A. (red.), *Średniowieczny zespół rezydencjonalny na Górze Katedralnej w Chełmie*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa: 133–150.
- GLIŃSKA N. 2018 – Wiślica we wczesnym średniowieczu w świetle dotychczasowych badań archeologicznych. Stan badań i problematyka badawcza, praca doktorska. Archiwum Instytutu Archeologii Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- GLIŃSKA N., BUKOWSKA A. 2020 – Wczesnośredniowieczna Wiślica. Urbs famosissima in regno Lechitarum. Nowe badania nad wczesnośredniowieczną architekturą kamienną w Wiślicy. Wyd. Instytutu Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1963 – Własności fizyczno-mechaniczne utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej na tle ich litologii i stratygrafii oraz warunków występowania. *Biuletyn Geologiczny UW*, 3.
- GRZYBKOWSKI A. (red.) 1997 – Wiślica. Nowe badania i interpretacje. Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Ministerstwo Kultury i Sztuki, Warszawa.
- GUZIK K. 2017 – Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych w zależności od ich litologii. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. *Studia, Rozprawy, Monografie*, Kraków, 205.
- HARASIMIUK M. 1975 – Rozwój rzeźby Pagórów Chełmskich w trzeciorzędzie i czwartorzędzie. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, 115: 1–108.
- HARASIMIUK M., RUTKOWSKI J. 1972 – O strukturach deformacyjnych i sedimentacji piasków sarmatu rejonu Chełma. *Rocznik PTG*, 42 (2–3): 271–284.
- JARZEWICZ J. 2009 – Opatów a Quedlinburg, czyli o wnioskach z analogii. [W:] Janik T. (red.), *Architektura romańska w Polsce*. Nowe odkrycia i interpretacje. Materiały sesji naukowej w Muzeum Początków Państwa Polskiego, Gniezno 9–11 kwietnia 2008 r.: 323–340.
- KARASZEWSKI W. 1962 – Stratygrafia liasu w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. *Prace Instytutu Geologicznego*, 30 (3): 333–416.
- KOLANO M., CAŁA M. 2011 – Lessy okolic Sandomierza w świetle badań geologiczno-inżynierskich. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 35 (2): 349–358.
- KOŁODZIEJCZYK K., PRZYGODZKI D. 2021 – Basement of the Collegiate Church in Wiślica: Unique Relics of Medieval Architecture. Their Protection, Conservation, and Display. *Wiadomości Konserwatorskie. Journal of Heritage Conservation*, 66: 156–171.
- KOZŁOWSKI S. 1986 – Surowce skalne Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- LINDNER L. 2005 – Nowe spojrzenie na liczbę, wiek i zasięgi zlodowaceń środkowopolskich w południowej części środkowowschodniej Polski. *Przegląd Geologiczny*, 53 (2): 145–150.
- ŁUKOMSKYI J. 2019 – Opis reliktów architektury: część północna Wysokiej Góry. [W:] Buko A. (red.), *Średniowieczny zespół rezydencjonalny na Górze Katedralnej w Chełmie*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa: 173–180.
- MALINOWSKI J. 1971 – Badania geologiczno-inżynierskie lessów. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- NEPELSKI K. 2021 – Charakterystyka lessów lubelskich jako podłoża budowlanego. *Przegląd Geologiczny*, 69 (12): 835–849.
- PIENKOWSKI G. 1983 – Środowiska sedimentacyjne dolnego liasu północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Przegląd Geologiczny*, 31 (4): 223–231.
- PRZEWŁÓCKI J., GRĘBOWSKI K., ZIELIŃSKA M. 2021 – Analiza nośności zabytkowych fundamentów w kontekście jakości użytych zapraw. *Wiadomości Konserwatorskie*, 66: 92–105.
- RADWAŃSKA T. 1993 – Krakowski kościół Najśw. Salwatora po badaniach archeologicznych w latach osiemdziesiątych. *Materiały Archeologiczne*, 27 (1).
- RAJMAN J. 1994 – Mons ante Cracoviam. Najdawniejsze dzieje kościoła św. Benedykta na Górze Lasoty. *Rocznik Krakowski*, 60: 5–20.
- STAŁA K. 2007 – Wczesnośredniowieczne zespoły palatinalne w Polsce jako przykład adaptacji i transformacji tradycji antycznej za pośrednictwem europejskich wzorców architektonicznych. *Przestrzeń i Forma*, 7/8: 119–166.
- ŚWIECHOWSKI Z. 1985 – Architektura kolegiaty w Opatowie i jej geneza. [W:] F. Kiryk (red.), *Opatów*. Materiały z sesji 700-lecia miasta, Sandomierz: 11–20.
- ŚWIECHOWSKI Z. 2009 – Katalog architektury romańskiej w Polsce. *Wyd. DiG*, Warszawa.
- TURNAU-MORAWSKA M. 1949 – Spostrzeżenia dotyczące sedimentacji i diagenety sarmatu Wyżyny Lubelskiej. *Annales UMCS*, 4 (7), ser. B: 135–194.
- WEBER-KOZIŃSKA M. 1997 – Budowle na kulminacji wyspy miejskiej w Wiślicy. [W:] A. Grzybkowski (red.), *Wiślica – nowe badania i interpretacje*. Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Ministerstwo Kultury i Sztuki, Warszawa: 20–33.
- WIKŁACZ Z. 2018 – Wilgoć w budynkach zabytkowych. *Wiadomości konserwatorskie*, 55: 57–66.
- www.arkam.krakow.pl 2025 – Piaskowiec Sobolów – Karta Techniczno-Informacyjna.

Praca wpłynęła do redakcji 19.11.2025 r.

Akceptowano do druku 17.12.2025 r.