

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0001-9825-6343

# Badania murów zamku w Będzinie z użyciem tomografii ultradźwiękowej

## *Tests with the use of ultrasound tomography of the walls of the castle in Będzin*

DOI: 10.15199/33.2022.06.09

**Streszczenie.** Mury zamku w Będzinie wzniesiono techniką „opus emplectum”. W wyniku oddziaływania zewnętrznych czynników atmosferycznych, a zwłaszcza wody opadowej i gruntowej wnikającej w szczeliny muru przez pęknięcia i spoiny, doszło do wielu awarii murów obronnych i murów samego zamku. Przeprowadzono nieniszczące badania ultradźwiękowe w celu stwierdzenia występowania pustek wewnętrznych w murach.

**Słowa kluczowe:** mury kamienne; „opus emplectum”; badania nieniszczące; tomografia ultradźwiękowa.

**Abstract.** The walls of the castle in Będzin were erected using the "opus emplectum" technique. As a result of the influence of external atmospheric factors, especially rainwater and groundwater penetrating into the cracks of the wall through cracks and joints, there were many failures of the defensive walls and the walls of the castle itself. Non-destructive ultrasonic tests were carried out to find the presence of internal voids in the walls.

**Keywords:** stone walls; "opus emplectum"; non-destructive testing; ultrasound tomography.

Zamek w Będzinie powstał w pierwszej połowie XIV w. i był kilkakrotnie niszczone oraz przebudowywany. Uszkodzenia wystąpiły w XVII w., na skutek pożaru (1616 r.) i działań wojsk szwedzkich (1655 r.). W końcu XVIII w. częściowo tylko odbudowany zamek był już opuszczony. W 1834 r. został on odbudowany zgodnie z projektem włoskiego architekta i budowniczego Franciszka Marii Lanciego. W połowie XIX w., po drobnych przeróbkach, obiekt służył jako szpital, a następnie znów popadł w ruinę. W 1929 r. ponownie przystąpiono do odbudowy zamku, którego projekt i plan odbudowy sporządził prof. Adolf Szyszko-Bohusz.

Po II wojnie światowej podjęto próbę naprawy średniowiecznych umocnień i po wielu trudnościach udało się je zrekonstruować w latach 1952 ÷ 1956. Pod koniec XX w. wykonano iniekcję w podłoże i skałę pod zamkiem. W ostatnich latach stwierdzono liczne przypadki awarii murów obronnych i murów zamku. Widok zamku w Będzinie od strony północno-wschodniej pokazano na fotografii 1.



Fot. 1. Zamek od strony północno-wschodniej  
Fot. 1. The castle from the north-east side

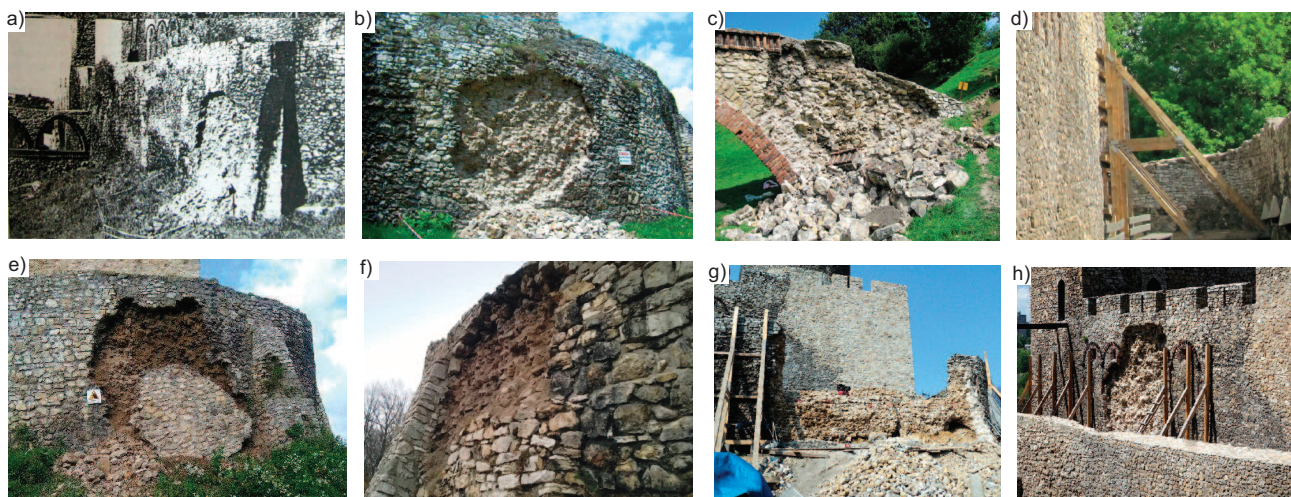
### Awarie murów zamku

Mury zamku w Będzinie wzniesiono techniką „opus emplectum”, która polegała na murowaniu zewnętrznej i wewnętrznej części muru z ociosanych bloków kamiennych na zaprawie wapiennej i wypełnianiu przestrzeni między nimi kruszonym kamieniem zalanym zaprawą wapienną (tzw. rumosz) [1, 2]. Podstawowym elementem murywostanowym do wzniesienia zamku był dolomitowy kamień łamany. Pierwotnie mury wykonano na zaprawie wapiennej. Podczas licznych przebudów i napraw stosowano zaprawę cementową, cementowo-wapienną oraz renowacyjną (wapienna z dodatkiem trasów reńskich). Koronę murów pierwotnie zwieńczono

dopasowanymi obciosanymi blokami kamiennymi na zaprawie wapiennej, a podczas odbudowy w połowie XX w. wykonano na nich szlichtę z zaprawy cementowej.

Najstarszy znany przypadek osunięcia się fragmentu ścian muru zamku miał miejsce w 1825 r. W 2001 r. nastąpiło odspojenie i osunięcie warstwy licowej od strony wschodniej (fotografia 2a). Podobne uszkodzenie w sąsiednim polu muru odnotowano w 2005 r. (fotografia 2b). W 2010 r., po opadach deszczu, uszkodzeniu uległ mur arkadowy (fotografia 2c), a w 2011 r. doszło do znacznego zarysowania i odspojenia fragment muru zamku wysokiego (fotografia 2d). W sierpniu 2016 r. odspoił się od muru i osunął duży fragment kamiennego lica od strony wschodniej (fotografia 2e), wraz z odbudowanym fragmentem, po uszkodzeniu z 2001 r. Pod koniec grudnia 2016 r. stwierdzono podobny przypadek od strony północno-zachodniej (fotografia 2f). Kolejne awarie wystąpiły w 2017 i 2020 r. (fotografie 2g i h). Przyczyną powstawania uszkodzeń były wpływy atmosferyczne i procesy starzenia się materiałów. W wyniku oddziaływania zewnętrznych czynników atmosferycznych, a zwłaszcza wody wnikającej w szczeliny przez pęknięcia i spoiny, a pocho-

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; lukasz.drobiec@polsl.pl



Fot. 2. Uszkodzenia murów zamku będzińskiego: a) 2001 r.; b) 2005 r.; c) 2010 r.; d) 2011 r.; e i f) 2016 r.; g) 2017 r.; h) 2020 r.  
 Photo 2. Damage of the walls of Będzin Castle: a) 2001; b) 2005; c) 2010; d) 2011; e) and f) 2016; g) 2017; h) 2020

dzącej z opadów i z podłoża gruntowego zalegającego za częścią murów (dochodzi do znacznego osłabienia struktury i zagrożenia samorzutnym rozpadem).

### Badania i analiza wyników

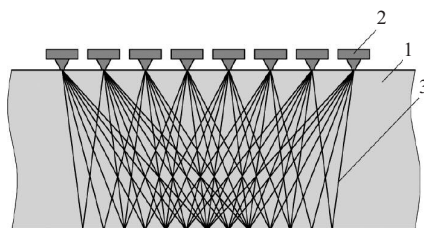
Do badań nieciągłości struktury wewnętrznej można wykorzystać metody nieniszczące [3, 4]. W celu określenia możliwych zagrożeń kolejnymi awariami przeprowadzono badania wnętrza murów za pomocą tomografu ultradźwiękowego. Na rysunku 1 przedstawiono miejsca badania murów. W tomografii są 3 rzędy po 8 głowic pomiarowych pracujących w zakresie częstotliwości 50 kHz. Każda głowica pomiarowa transmituje sygnał ultradźwiękowy w postaci fal poprzecznych i echa tych sygnałów są odbierane przez pozostałe głowice. Poszczególne głowice przesyłają własny sygnał po kolei,

z opóźnieniem  $8 \div 200$  ms. Kompletny pomiar w jednym rzędzie składa się z 28 skanów, tzw. A-skanów (rysunek 2). A-skany służą do tworzenia w czasie rzeczywistym tzw. B-skanu, czyli przekroju badanego elementu usytuowanego prostopadle do powierzchni skanowania. W celu wizualizacji wyników badań oprogramowanie przyporządko-

wuje amplitudom odebranego sygnału kolory i tworzy mapy. Amplitudom o najmniejszej wartości przyporządkowany został kolor granatowy, a amplitudom o największej wartości kolor czerwony. Wynikiem jest poprzeczny przekrój badanego elementu. Zasięg urządzenia zależy od gęstości badanego materiału (zwykle w materiałach konstrukcyjnych wynosi  $2,0 \div 2,5$  m) oraz od liczby wad wewnętrznych.

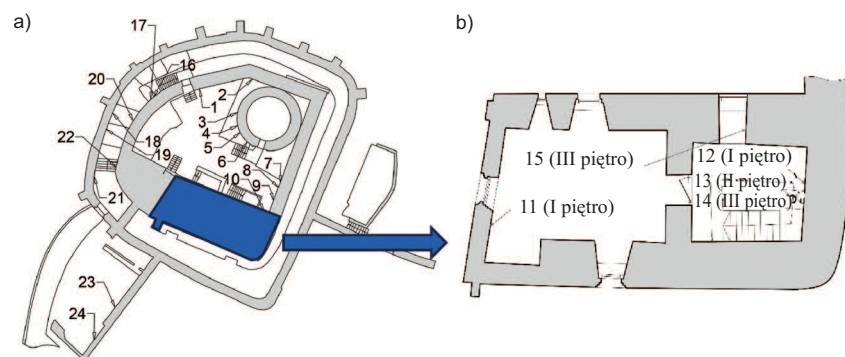
Badania przeprowadzono w wybranych 24 miejscach murów obronnych i murów wieży (rysunek 1a) oraz w murach zamku od zewnątrz i od wewnątrz (rysunek 1b). W miejscach tych wykonano B-skany.

Na rysunkach 3 i 4 pokazano wybrane wyniki badań. Pustki wewnętrzne są widoczne w postaci błękitno-żółto-czerwonych plam. Na osi pionowej skanów zaznaczono głębokość. Skany od zewnątrz były utrudnione z uwagi na nierówność powierzchni muru, dlatego często wykonywano je jako pojedyncze przyłożenie urządzenia do muru (jeden przekrój). Skany od wewnątrz budynku zamku realizowano na równej powierzchni (przez tynk) i w efekcie można było je wykonać jako liniowe złożone z kilku przekrojów.



Rys. 2. Zasada pomiaru tomografem ultradźwiękowym: 1 – badany element; 2 – głowica ultradźwiękowa; 3 – wiązka ultradźwięku

Fig. 2. Principle of measurement with an ultrasonic tomograph: 1 – tested element; 2 – ultrasound head; 3 – ultrasound beam

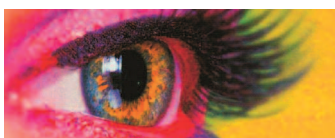


Rys. 1. Miejsca badania murów metodą tomografii ultradźwiękowej: a) murów obronnych; b) murów zamku od wewnątrz

Fig. 1. Places of wall tests using the ultrasonic tomography method: a) defensive walls; b) castle walls from the inside

### Podsumowanie

Stwierdzono, że wewnątrz badanych murów zamku występują liczne pustki. W przypadku murów obronnych górnego zamku oraz murów wieży najwięcej pustek jest tuż za warstwą licową.



## SODASIL – TiO<sub>2</sub> Extender

– lepsze krycie, wzrost stopnia białości,  
– obniżenie kosztów produkcji dzięki zmniejszeniu udziału TiO<sub>2</sub>



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

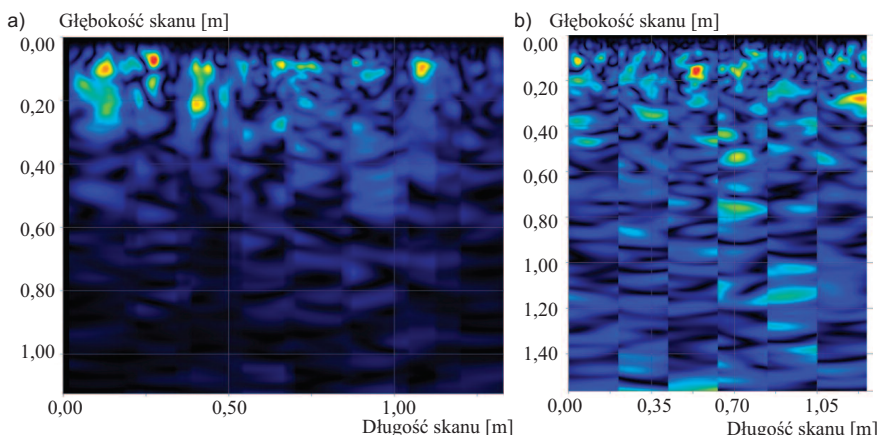
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

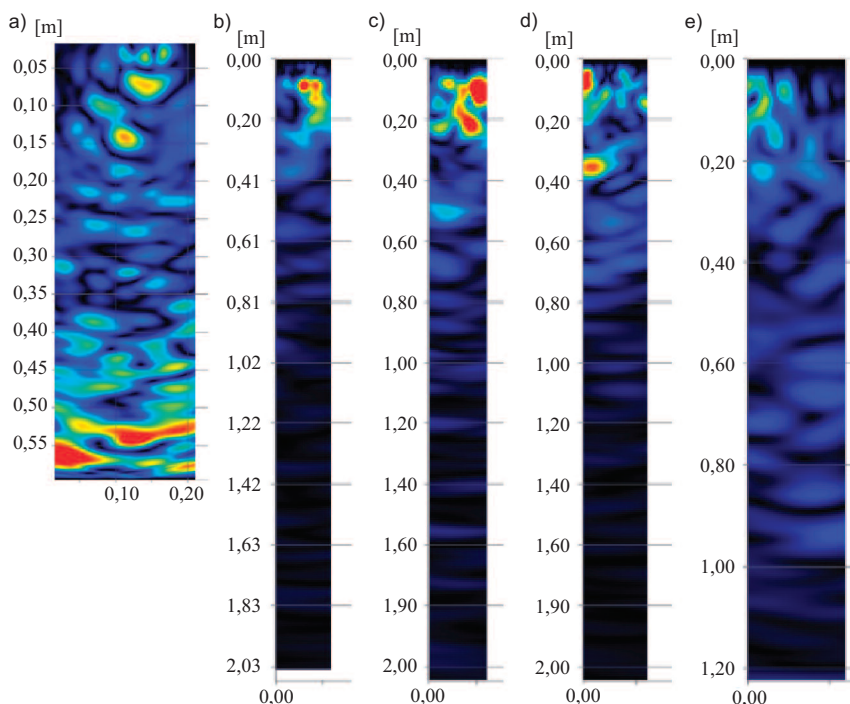
Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbolcel@jrs.pl



Rys. 3. Wybrane wyniki badań murów zamku: a) skan w miejscu nr 11; b) skan w miejscu nr 15

Fig. 3. Selected test results of the castle walls: a) scan in place no. 11; b) scan in place no. 15



Rys. 4. Wybrane wyniki badań murów obronnych: a) skan w miejscu nr 1; b) skan w miejscu nr 4; c) skan w miejscu nr 8; d) skan w miejscu nr 10; e) skan w miejscu nr 18

Fig. 4. Selected results of the defensive wall tests: a) scan in place no. 1; b) scan in place no. 4; c) scan in place no. 8; d) scan in place no. 10; e) scan in place no. 18

W murach budynku zamku uszkodzenia występują głębiej. Najmniej pustek i wad wewnętrznych wykazują mury odbudowane i wyremontowane. Jedynie w przypadku pięciu skanów nie stwierdzono występowania pustek wewnętrznych. Strefy bez uszkodzeń stanowią jednak tylko ok. 21% całej badanej powierzchni. Należy się więc spodziewać w przyszłości dalszych uszkodzeń. Zalecono prowadzenie ciągłych obserwacji i zaprojektowanie monitoringu murów zamku.

Wszystkie rysunki i fotografie: Autor

### Literatura

- [1] Tajchman J, Jurecki A. Historia technik budowlanych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020.
- [2] Jasiętko J, Engel L, Kondolewicz A. Problemy konstrukcyjno-konserwatorskie w stabilizacji i ekspozycji ruin obiektów kamiennych na przykładzie Zamku „Lenno” we Włeniu”. Wiadomości Konserwatorskie. 2009; 26: 166 ÷ 176.
- [3] Schabowicz K. Ultrasonic tomography–The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014; 14: 295 – 303.
- [4] Zielińska M, Rucka M. Non-destructive assessment of masonry pillars using ultrasonic tomography. Metals. 2018; 8 (9), 683; <https://doi.org/10.3390/met8090683>.

Przyjęto do druku: 13.05.2022 r.