

Zenon DUDA*
Joanna HYDZIK*
Maciej WIŚNIEWSKI**

OCENA STANU TECHNICZNEGO JASKINI SMOCZA JAMA NA WZGÓRZU WAWELSKIM W KRAKOWIE

Smocza Jama na Wawelu jest naturalną jaskinią powstałą w wyniku zachodzenia zjawisk krasowych w wapieniach górnourajskich zachodniej części wzgórza Wawelskiego i stanowi część trasy turystycznej po Zamku Królewskim. Łączna długość całej jaskini wynosi 270 m, natomiast część wydzielona dla zwiedzających składa się z trzech połączonych ze sobą komór długości 81 m. Wysokość komór zawiera się w przedziale od około 3 m do około 10 m.

W celu dopuszczenia do ruchu turystycznego konieczne jest cykliczne przeprowadzanie kontroli stanu technicznego Smoczej Jamy i nadległej Galerii (Rezerwatu) oraz podjęcie stosowanych środków zabezpieczających. W artykule przedstawiono wyniki inwentaryzacji technicznej wraz z oceną stateczności zespołu komór Smocza Jama oraz przedstawiono propozycję przeprowadzenia metodami górnictwymi prac zabezpieczających.

1. Wprowadzenie

Smocza Jama na Wawelu w Krakowie jest jedną z najbardziej znanych polskich jaskiń. Główny ciąg jaskini udostępniony jest do zwiedzania dla masowego ruchu turystycznego i stanowi jedną z atrakcji Wzgórza Wawelskiego. Ciągi boczne o znacznej długości dostępne są tylko dla grotolazów, wyłącznie po uzyskaniu specjalnego zezwolenia (rys. 1).

Pierwszą wzmiankę o Smoczej Jamie można znaleźć w Kronice Wincentego Kadłubka pochodzącej z przełomu XII. i XIII. wieku. Na kartach Kroniki zamieszczony został tekst legendy o Smoku Wawelskim, którą zna każde dziecko. Od XVII. wieku przed jaskinią od strony Wisły oraz w jej wnętrzu działała karczma. W XIX w. jaskinia została spenetrowana przez historyków, archeologów oraz geologów. Smocza Jama została wówczas odgruzowana i udostępniona dla zwiedzających. Początkowo zej-

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie.

** Przedsiębiorstwo Rewitalizacji Obiektów Podziemnych Sp. z o.o. w Krakowie.

ściem drabinowym, a następnie po zamurowaniu otworów, za czasów cesarza Franciszka Jozefa, wykonano schody z poziomu fortyfikacji zamkowych i pozwolono ponownie na zwiedzanie. Pod koniec XIX. wieku rozebrano część schodów i jaskinia nie była dostępna. Ponownie udostępniono ją w 1918 roku od strony baszty niegdyś służącej jako fragment systemu wodociągów i zainstalowano oświetlenie elektryczne (Szelerewicz & Górny, 1986; Firlet, 1996). W roku 1966 interdyscyplinarny zespół pracowników AGH pod kierownictwem prof. Zbigniewa Strzeleckiego rozpoczął kompleksowe badania jaskini. Podczas sporządzania dokumentacji naukowej podjęto prace mające na celu zabezpieczenie niszczonej i grożącej zawaleniem jaskini, podczas których w 1974 r. przebito tunel do próżni zlokalizowanej metodami geofizycznymi. Znalaziono za nim salkę i prowadzący dalej korytarz zamknięty po kilku metrach syfonem. Ponadto, usunięto zalegające nad grotą Smocza Jama grunty nasypowe i utworzono tam Rezerwat (Galerię – rys. 2) z fundamentami dawnych murów obronnych z wieków średnich (Strzelecki i in., 1972; *Kompleksowe badania...*, 1975). W kolejnych latach przeprowadzono wyprawy grotolazów w celu penetracji i lepszego poznania niedostępnych części Smoczej Jamy (www.sktj.pl).

W celu dopuszczenia do ruchu turystycznego konieczne jest cykliczne przeprowadzanie kontroli stanu technicznego Smoczej Jamy i nadległej Galerii (Rezerwatu) oraz podjęcie stosownych środków zabezpieczających (Machowski, 2006; Duda, 2008, 2009).

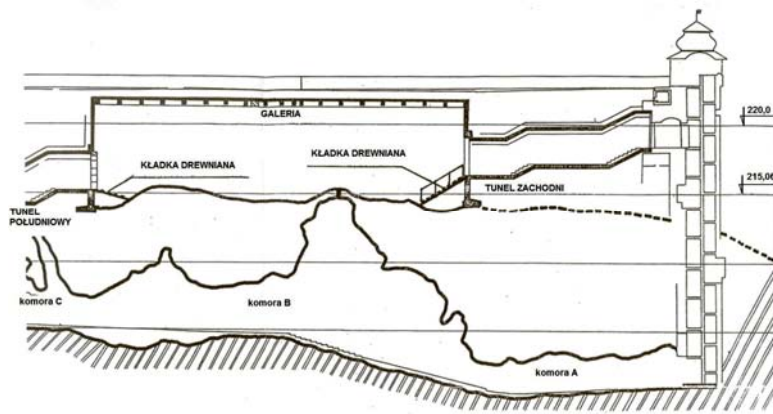
2. Opis jaskini Smocza Jama

Całkowita długość jaskini wynosi 270 m, zwiedzającym udostępniona została trasa o długości 81 m (rys. 1, 2). Zwiedzanie zaczyna się z terenu zamku. Przez ceglana wieżyczkę (XIX-wieczną studnię – rys. 3) schodzimy po 135 stopniach, około 21 metrów w dół do wnętrza jaskini.



Rys. 1. Jaskinia Smocza Jama – przekrój poziomy (Szelerewicz & Górny, 1986)

Fig. 1. Dragon's Den cave – cross section (Szelerewicz & Górny, 1986).



Rys. 2. Jaskinia Smocza Jama – przekrój pionowy (Firlet, 1996)

Fig. 2. Dragon's Den cave – vertical section (Firlet, 1996)



Rys. 3. Wejście do Smoczej Jamy

Fig. 3. Entrance to Dragon's Den

Obmurowany ceglami korytarzyk prowadzi do pierwszej rozległej komory (komora A) o wymiarach $5,8 \times 10$ i wysokości 3,2 metra (rys. 4). Dno sali pokrywa warstwa ziemi. Kolejna komora (komora B) jest najobszerniejsza w jaskini i ma długość 25 metrów i wysokość do 10 m. W jej stropie widać ceglana kopułę zasłaniającą komin

prowadzący niegdyś do kolejnego otworu jaskini. Następnie przechodzi się do trzeciej sali (komora C) z podtrzymującymi strop ceglanymi filarami, być może kryjącymi naturalne formy skalne.



Rys. 4. Jaskinia Smocza Jama– widok ogólny na komorę A
Fig. 4. Dragon's Den cave – chamber A – general view

Przy jednej ze ścian znajdują się schodki prowadzące do obecnie zamurowanego otworu. Krótkim obudowanym tunelem turyści wychodzą na powierzchnię ziemi obok stojącej nieopodal otworu rzeźby Smoka Wawelskiego (rys. 5).



Rys. 5. Wyjście ze Smoczej Jamy
Fig. 5. Exit from Dragon's Den

Oprócz wspomnianych wyżej trzech sal ciągu głównego na jaskinię składają się inne korytarze tworzące dwa inne ciągi (rys. 1). Tuż obok południowego, naturalnego otworu zaczyna się wąski Korytarz Pod Smoka nazwany tak dlatego, że prowadzi w sąsiedztwo stojącej przed otworem jaskini rzeźby smoka. Wyczuwalny jest w nim silny ruch powietrza, a znajdujące się w końcowej niewielkiej salce korzenie drzew świadczą o bliskości powierzchni. Drugi ze wspomnianych ciągów, o długości ok. 170 m, zaczynający się za sztucznie przebitym tunelem ma odmienny charakter. Składa się on z systemu niewielkich sal i korytarzyków powstałych w warunkach całkowitego wypełnienia wodą. Występują w nim ostre skalne krawędzie, liczne progi, cienkie ścianki oddzielające przestrzenie i jeziorka w najniższej części. Badania nie potwierdziły łączności tych jeziorzek z wodami płynącej nieopodal Wisły. Dno korytarzy pokrywa namulisko ilaste. Końcowe ich części leżą pod budynkami Wzgórza Wawelskiego (www.skjtj.pl).

3. Warunki geologiczne, geomechaniczne i hydrogeologiczne

Wzgórze Wawelskie jest niewielkim zrębem tektonicznym zbudowanym z wapieni jurajskich. W otoczeniu występują utwory czwartorzędowe, pokrywane cienkim płaszczem ily mioceneskie. Skałami otaczającymi Smoczą Jamę są wapienie skaliste górnej jury, silnie skrasowiałe, pokryte licznymi lejami krasowymi, w których spotyka się resztki margli kredowych.

Odznaczające się zbitą strukturą wapienne skały otaczające Smoczą Jamę zbudowane są z różnokrystalicznego kalcytu oraz z lokalnych wtrąceń gipsu zanieczyszczonego związkami żelaza gromadzącymi się w trakcie sedymentacji.

Przeprowadzone laboratoryjne badania własności fizyko-mechanicznych skał otaczających groty wykazały znaczny rozrzut wyników, co świadczy o dużej niejednorodności i naruszonej strukturze skał (*Kompleksowe badania...*, 1975). Wartości parametrów zawiera tabela 1.

Przeprowadzona i opisana (*Kompleksowe badania...*, 1975) analiza stanu naprężeń występujących na konturach zastępczych przekrojów poprzecznych Smoczej Jamy dla górotworu jednorodnego i ciągłego, wykazała znacznie niższe niż uzyskane parametry wytrzymałościowe skał wapiennych otaczających komory. Uwzględniając natomiast niejednorodność, anizotropowość i nieciągłość górotworu, wykazującego liczne spękania i pustki w postaci kawern i kominów jak również nieregularność kształtu konturu, w przekroju zarówno poprzecznym jak i podłużnym, w górotworze powstają znacznie większe naprężenia, dochodzące do wartości bliskich wytrzymałości skał wapiennych. W celu wyeliminowania powstawania nadmiernych wyteżeń i zachowania stateczności całej jamy górotwór w latach 70. i 80. ubiegłego wieku scalono za pomocą kotwienia oraz iniekcji spoiwami cementowymi.

Tabela 1. Właściwości fizyko-mechaniczne skał otaczających jaskinię (*Kompleksowe badania...*, 1975)
 Table 1. Physical and mechanical properties of rock mass surrounding a cavern
 (*Kompleksowe badania...*, 1975)

Lp.	Parametr	Jednostka	Rozrzut wartości	Wartość średnia
1	Wilgotność naturalna	%	1,16÷3,35	2,0
2	Ciężar objętościowy	kN/m ³	25,5÷26,9	26,0
3	Wytrzymałość na ściskanie	MPa	20,0÷185,6	100,0
	– w wilgotności naturalnej		13,0÷180,7	90,0
4	Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	2,1 ÷ 8,38	3,5
	– po nasyceniu próbek wodą			
5	Wytrzymałość na ścinanie	MPa	12,0÷26,6	20,0
	– w wilgotności naturalnej		12,0÷26,5	19,0

Warunki hydrogeologiczne panujące w obrębie Wzgórza Wawelskiego są związane z poziomem wody w Wiśle oraz licznymi spękaniami przecinającymi skały wapienne, przez które wody powierzchniowe infiltrują do zlewni. Jaskinia oddalona jest od koryta rzeki Wisły o około 50 m i rozciąga się mniej więcej równolegle do niej na kierunku północ-południe, z niewielkim odchyleniem ku zachodowi w części północnej. Krążenie wód podziemnych w skałce wawelskiej uzależniony jest od układu szczelin przecinających wapienie budujące wzgórze, szczególnie tych o rozwarciu powyżej 20 mm oraz stanowiących początki kominów krasowych o dużym nachyleniu na poziomie 70–90°.

Spąg Smoczej Jamy leży na rzędnych 200,75–205,50 m n.p.m. Najniżej położony jest spąg w komorze A i wznosi się stopniowo aż do komory C. Natomiast poziom lustra Wisły wynosi około 199,0 m n.p.m. i ulega ciągłym wahaniom w zależności od intensywności opadów. Szczególnie w okresach wczesnowiosennych podwyższony poziom wody w rzece, wraz z infiltrującymi wodami z topiącego się śniegu, powodują lokalne podtopienia. Ciągły monitoring poziomu wód gruntowych prowadzony jest w studni obserwacyjnej umiejscowionej na dziedzińcu Zamku (*Kompleksowe badania...*, 1975).

4. Stan techniczny komór Trasy Turystycznej w Smoczej Jamie

Przedstawiony poniżej aktualny stan techniczny zespołu komór A, B, C i Galerii w jaskini Smocza Jama (rys. 1 i 2) jest wynikiem wnikliwych studiów dostępnej literatury i dokumentacji oraz szczegółowego kontrolnego przeglądu technicznego struktury otaczającego górotworu, wewnętrznych ścian jaskini i znajdujących się tam budowlanych konstrukcyjnych elementów zabezpieczających. Przedmiotowa wizja lokalna

obejmowała cały przebieg podziemnej trasy turystycznej od wejścia na terenie Zamku (rys. 3) do wyjścia (rys. 5) na bulwar od strony Wisły.

Trasę podziemną z powierzchnią ziemi przy murze obronnym łączy pionowe zejście schodowe. Ceglane obmurowanie zejścia (rys. 2) oraz stopnie żelbetowych schodów łącznie z metalową poręczą są prawidłowo oświetlone i znajdują się w dobrym stanie technicznym, zapewniając pełne bezpieczeństwo ruchu turystycznego. Około 8,0 m poniżej poziomu terenu, znajduje się wejście (rys. 6) do przestronnej galerii (rys. 7) wiodące krótkim chodnikiem w obudowie murowej.



Rys. 6. Wejście do Galerii

Fig. 6. Entrance to Gallery



Rys. 7. Wnętrze Galerii.

Fig. 7. Inside of Gallery

Wylot pionowego zejścia schodowego stanowi początek dostępnej dla turystów podziemnej trasy, stanowiącej połączenie trzech komór, oznaczonych na rysunkach 1 i 2 jako A, B i C.

W **komorze A** nie zaobserwowano większych zniszczeń górotworu (rys. 4). Strop jest niespękany, w ociosach brak poważniejszych odspojień i spękań, które stanowiłyby zagrożenie dla zwiedzających. W ociosie zachodnim stwierdzono występowanie porostów pokrywających skały zielonym nalotem, zlokalizowanych w pobliżu punktów oświetleniowych oraz kratowego zamknięcia tunelu.

Komora B jest największą częścią zespołu. Liczne kominy w stropie oraz jej gabaryty wskazują na najsilniejsze działanie erozyjne wód podziemnych w tym miejscu. Stwierdzono licznie występujące odspojenia bloków skalnych w ociosach zachodnim i wschodnim, w okolicy schodów w części północnej tej komory.

Strop południowej części komory przy wylocie do komory C został zabezpieczony siatką (rys. 8) rozpiętą na kotwach stalowych zabudowanych na spoiwie cementowym. Z uwagi na upływ czasu kotwy uległy częściowej korozji, a luźne podkładki kotwiczne nie gwarantują już pełnego, długotrwałego zabezpieczenia stropu komory.

Ocios zachodni południowej części komory B podczas wcześniejszych prac zabezpieczających prowadzonych w latach 70-tych i 80-tych ubiegłego wieku został scalony poprzez zastosowanie spoiw na bazie cementów. Obecnie zabezpieczenie to, na skutek postępującej erozji skał i lepszycza nie spełnia swojej już roli. Występują w tych miejscach liczne odspojenia bloków i kruchów skalnych od ociosu (rys. 8).



Rys. 8. Spękane i częściowo spojone bloki skalne wraz z siatką zabezpieczającą

Fig. 8. Riffs and partially pointing of stone block with protective mesh

Zapewnienie stateczności komory „B”, niezależnie od wspomnianej wyżej obudowy kotwicznej, tworzy także słup żelbetowy w okładzinie drewnianej. Stanowi on pod-

parcie dużego głazu nawisowego. Przy analizie dostępnej dokumentacji technicznej nie natrafiono na opis konstrukcyjny tego elementu. W trakcie oceny makroskopowej oceniono jego stan techniczny jako zadowalający. W przyszłości zachodzi jednak konieczność przeprowadzenia szczegółowej analizy wytrzymałościowej na podstawie badań laboratoryjnych pobranych prób. Stan okładziny drewnianej, poza częścią przystropową, jest zadowalający.

W środkowej części komory B oraz w stropie przejścia do komory C występują drobne wycieki i zawilgocenia stropu o charakterze sezonowym. Intensywność wykropleń wody zwiększa się wiosną (wody roztopowe oraz intensywne opady deszczu), a maleje w porach roku o mniejszej intensywności opadów. Aktualnie wykroplenia tworzą na spągu rozlewiska mogące powodować utrudnienia w ruchu turystycznym. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji można przyjąć szacunkowo, że na 1 m² w tym rejonie przybywa od 1,8 do 2,6 litra wody na dobę, spływając częściowo wsiąka ona w podłoże (rys. 9 i 10) (Duda, 2009).



Rys. 9. Wykroplenia ze stropu
Fig. 9. Outdropping from the roof

Komora C jest najkrótszą częścią Smoczej Jamy i kończy się wyjściem na zewnątrz bezpośrednio na bulwar spacerowy biegnący wzdłuż Wisły (rys. 5). Strop tej części łączy się z szybikiem wykonanym w murach obronnych Wawelu. Obecnie jednak przejście to jest zadeskowane bonem znajdującym się na poziomie galerii zlokalizowanej bezpośrednio nad Smoczą Jamą.

Lokalizację przestrzenną **Galerii** przedstawiają rys. 2 i 7. Galeria nie stanowi odcinka trasy turystycznej. Jest dla turystów niedostępna, jednak ze względów bezpieczeństwa stateczności stanowi integralną całość przedmiotowego zespołu komór jaskini „Smocza Jama”. Jej stan zachowania, jak i wygląd nie uległy zmianie w ostatnim

czasie. Strop i ociosy nie wykazują ubytków, nie uległa także destrukcji konstrukcja murowa. Wewnątrz nie wyczuwa się istotnego zawilgocenia.



Rys. 10. Pomiar objętości skraplającej się wody

Fig. 10. The measurement of dropping water

5. Propozycja zabezpieczeń górniczych części jaskini dostępnej dla turystów

Z uwagi na wcześniej sformułowane wyniki z obserwacji technicznych można stwierdzić, że zabezpieczenie jaskini Smocza Jama powinno obejmować:

1. Stabilizację odspojonych fragmentów stropu i ociosów poprzez:
 - dokładną kontrolę stanu stropu i ociosów całej Smoczej Jamy poprzez wykonanie otworów kontrolnych i sprawdzenie dźwięczności (odgłos dźwiękowy) skał prowadzone z zabudowanych pomostów lub rusztowań,
 - zakotwienie większych fragmentów odspojonych skał kotwami z tworzyw sztucznych o zamocowaniu ciągłym na spoiwie mineralnym; tłoczone do otworów kotwowych spoiwo spowoduje również wstępną iniekcję górotworu w najbliższym otoczeniu otworu,
 - wymianę siatki zabezpieczającej strop komory B, zabezpieczenie siatką zachodniego i wschodniego ociosu w miejscach najbardziej zniszczonych.
2. Likwidację wycieków wody w światło komory poprzez:
 - wykonanie dokładnej iniekcji górotworu w otoczeniu komory. Iniekcje powinny być prowadzone dwuetapowo; w pierwszym etapie należy stosować środki, które wypełniłyby większe przestrzenie wokół jaskini, po czym należałoby zastosować środki o większej zdolności penetracji górotworu (iniektory mineralne lub organiczne o niskiej lepkości). Z uwagi na stan komór iniekcję należy prowadzić możliwie

bezcisnieniowo podając iniekt od strony światła komór lub (jak i) z galerii znajdującej się nad zespołem komór A, B i C,

- równoległe z doszczelnieniem górotworu należy odwiercić 2–3 otwory drenażowe, ujmować migrującą wodę i odprowadzać ją węzami na zewnątrz jaskini.
3. Prace uzupełniające, do których należą:
- zastabilizowanie kilku reperów geodezyjnych dla oceny ewentualnych przemieszczeń,
 - likwidację środkami chemicznymi i usuwanie mechaniczne lub ręczne porostów,
 - uzupełnienie oświetlenia (przepalone żarówki) ewentualnie zmiana oświetlenia na światło zimne ledowe.

6. Podsumowanie

Na podstawie całościowo dokonanej analizy stanu bezpieczeństwa dla ruchu turystycznego w podziemnej trasie turystycznej „Smocza Jama” na Wawelu, niezależnie od wyżej przedłożonych uwag, można stwierdzić, iż aktualny stan techniczny przedmiotowej groty oraz istniejących tam konstrukcji budowlano-zabezpieczających nie stwarza zagrożenia dla osób w niej przebywających. Niemniej jednak w najbliższym czasie należy przeprowadzić szczegółową analizę stanu technicznego wraz z dokładnymi badaniami własności fizyko-mechanicznych otaczających skał w celu dokonania analizy geomechanicznej.

Zaproponowane prace zabezpieczająco-konserwatorskie mogą być realizowane jedynie pod ścisłym nadzorem osób uprawnionych.

Literatura

1. DUDA Z., *Okresowe sprawozdanie z kontroli technicznej Smoczej Jamy w roku 2008*. Kraków. 2008 (maszynopis).
2. DUDA Z., *Okresowe sprawozdanie z kontroli technicznej Smoczej Jamy w roku 2009*. Kraków. 2009 (maszynopis).
3. FIRLET E. M., *Smocza Jama na Wawelu*. Universitas. Kraków. 1996.
4. MACHOWSKI M., *Sprawozdanie z przeprowadzonej kontroli technicznej i konserwacji komór Smoczej Jamy*. Kraków. 2006 (maszynopis).
5. *Kompleksowe badania górotworu na przykładzie akcji ratunkowej w Smoczej Jamie na Zamku Królewskim na Wawelu*. (praca zbiorowa) PAN Oddział w Krakowie, Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej, z. Górnictwo 14. PWN. Warszawa-Kraków. 1975.
6. STRZELECKI Z., i in., *Wyniki prac naukowo-badawczych i wytyczne (projekt) zabezpieczenia Smoczej Jamy na Wawelu w oparciu o kompleksowe rozeznanie zagadnienia w okresie od 11.XI.1966 r. do 15.V.1972 r.* Kraków. 1972 (maszynopis).
7. SZELEREWICZ M., GÓRNY A., *Jaskinie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej*. PTTK Kraj. Kraków-Warszawa. 1986.
8. www.sktj.pl, witryna Sopotckiego Klubu Taternictwa Jaskiniowego.

ABOUT DRAGON'S DEN OF WAWEL HILL IN CRACOW

The Dragon's Den, a legendary cave in the western slope of Wawel Hill, is surely among great curiosities of Wawel. The cave is 270 meters long, of which 81 meters are open to the public. The first and the lowest northern A chamber was filled with water until the 19th century and the water was used to supply Wawel's buildings. A short, narrow passage leads to the main middle B chamber which is the largest; 25 m long and up to 10 m high. This chamber is divided, by a simultaneous narrowing and heightening, into two parts which create the most picturesque part of the interior. The southern and the last C chamber is 11m long, 5,8 m wide and 4 m high. A stone vault is supported by a set of brick pillars. This section is decorated by rock projections, chimneys and karstic fissures. This is where the main room of the tavern was.

This paper presents inventory control technical state of Dragon's Den and estimation of stability caverns' Dragon's Den. Moreover proposition of protection this cavern with mining method was presented.