

Andrzej Nierobisz, Andrzej Kotyrba*, Grzegorz Merta**

OCENA STATECZNOŚCI STROPÓW JASKINI SZACHOWNICA I

1. Wprowadzenie

Rezerwat przyrody „Szachownica” o powierzchni 12,7 hektara ustanowiono Zarządzeniem Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z dnia 11 października 1978 r. (MP nr 33, poz. 126). Znajduje się on w gminie Lipie, powiat Kłobuck, województwo śląskie i obejmuje zalesione wzgórze wapienne „Krzemienna Góra” (rys. 1) z systemem podziemnych 5 fragmentów rozległej jaskini rozciętej kamieniołomem, Szachownica I o długości około 70 m, Szachownica II o długości około 20 m oraz Szachownica III÷V obejmująca niewielkie fragmenty jaskiń w południowej części kamieniołomu. System sal jaskini znajduje się na głębokości do 12 m licząc od powierzchni terenu (rys. 2).

Celem utworzenia rezerwatu było zachowanie proglacjalnej jaskini powstałej w wapieniach górnourajskich oraz interesującego profilu geologicznego. Ze względu na zimowanie na obszarze jaskini nietoperzy rezerwat „Szachownica” został zgłoszony do włączenia do sieci obszarów Natura 2000 [5].

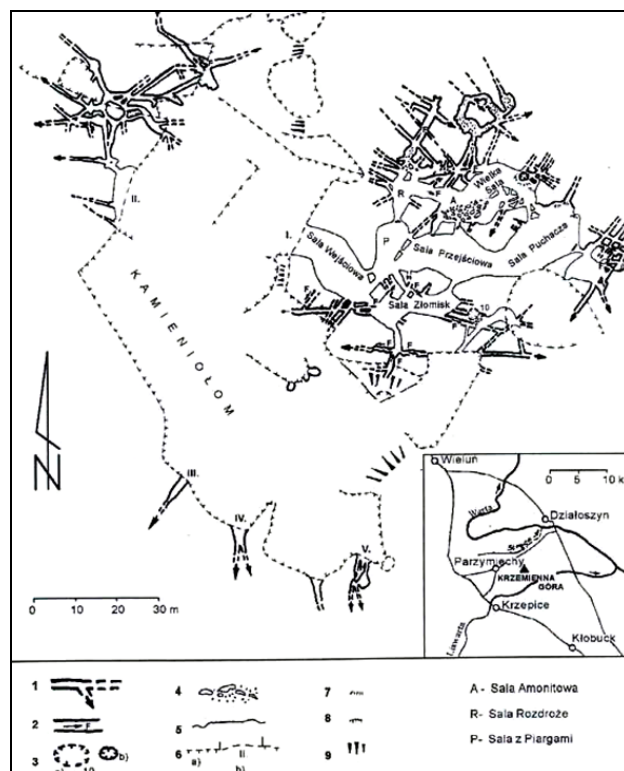
Dla jaskini Szachownica I największym zagrożeniem jest proces destrukcji stropów głównego ciągu jaskini, sztucznie poszerzonego podczas eksploatacji wapienia. Ingerencja człowieka spowodowała naruszenie stateczności masywu. Sztuczne otwory o znacznych rozmiarach na linii Sala Wejściowa — Sala Puchacza zmieniły pierwotny mikroklimat jaskini, wywołując bardzo silne przewiewy pomiędzy otworami i doprowadzając do wymarzania tej części jaskini. Odslonięcie tak dużych powierzchni ociosów i stropu w znacznym stopniu przyspieszyło wietrzenie mrozowe. Woda płynąca przez szczeliny a w zimie zamarzająca w tychże szczelinach powoduje szybką dezintegrację stropu w głównym ciągu jaskini [3].

Po dokonaniu oględzin jaskini Szachownica I stwierdzono, że najbardziej zagrożone zawałem jest pięć z ośmiu sal. W tych salach wykonano badania spękań stropów dla oceny ich stateczności. Uzyskane wybrane wyniki zaprezentowano poniżej.

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice



Rys. 1. Wejście do jaskini Szachownica I



Rys. 2. Plan jaskini Szachownica [4]:

1 — korytarze naturalne, 2 — kierunki przepływu wody, 3 — pionowe studnie
 (a — w dnie jaskini, b — otwarte na powierzchnię), 4 — bloki zawaliskowe, 5 — ściany jaskini
 poszerzonej przez eksploatację wapieni, 6 — zarys kamieniołomu (a — ściany, b — okapy i numery
 fragmentów systemu jaskiniowego), 7 — spadki, 8 — progi, 9 — skarpy, A,P,R — skróty nazw sal

2. Metodyka i wyniki badań spękań za pomocą kamery introskopowej

Istota badań introskopowych polega na obserwacji wnętrza zamkniętych przestrzeni, np. otworów wiertniczych, naturalnych rozpadlin bądź szczelin skalnych przy pomocy miniaturowej kamery. Poprzez umieszczenie kamery wewnątrz badanego obiektu można określić jego strukturę i budowę. Kamera umieszczona jest wewnątrz walcowego korpusu o średnicy 35 mm. Korpus ten zapewnia całkowitą wodoszczelność, pozwalając tym samym na prowadzenie badań nawet w otworach zawodnionych do głębokości około 150 m. Obraz z kamery przekazywany jest do monitora zintegrowanego z urządzeniem rejestrującym. Możliwe jest uzyskanie powiększenia obrazu badanego obiektu, co pozwala badać defekty materiałowe, o rozmiarach rzędu 0,1 mm. Możliwość nagrywania komentarza dźwiękowego znacznie poszerza zakres analizy danych. Aparaturę do badań introskopowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Kamera introskopowa

Strop jaskini Szachownica I charakteryzuje się występowaniem gęstej siatki spękań o charakterze pierwotnym i wtórnym. Pierwotny system spękań wynika z oddziaływania czynników naturalnych kształtujących formę jaskini. Wtórny system spękań jest pochodną dokonanych eksploatacyjnych jaskini, polegającym na wybraniu w sposób niekontrolowany znacznych fragmentów skały przez człowieka. Badania introskopowe stropu wykonane zostały w czterech wybranych szczelinach (rys. 4), w których rozwarcie było największe.

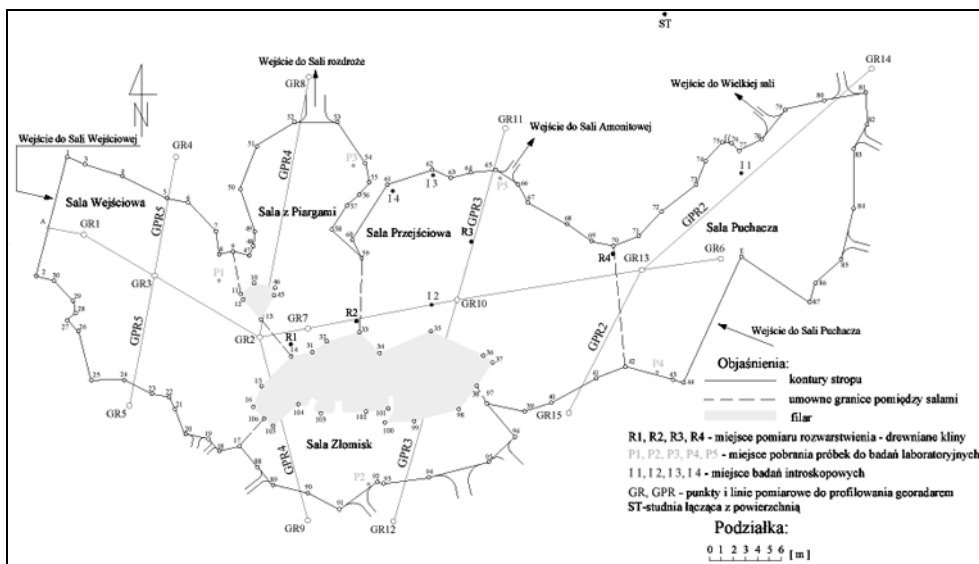
Wyniki obserwacji były następujące:

- 1) Szczelina nr 1. Zlokalizowano ją w stropie Sali Puchacza. Została spenetrowana do głębokości 2 m. Dokonane obserwacje pozwoliły stwierdzić, że kształt szczeliny jest nierównomierny. Charakterystycznym jest występowanie szeregu pustek, będących wyni-

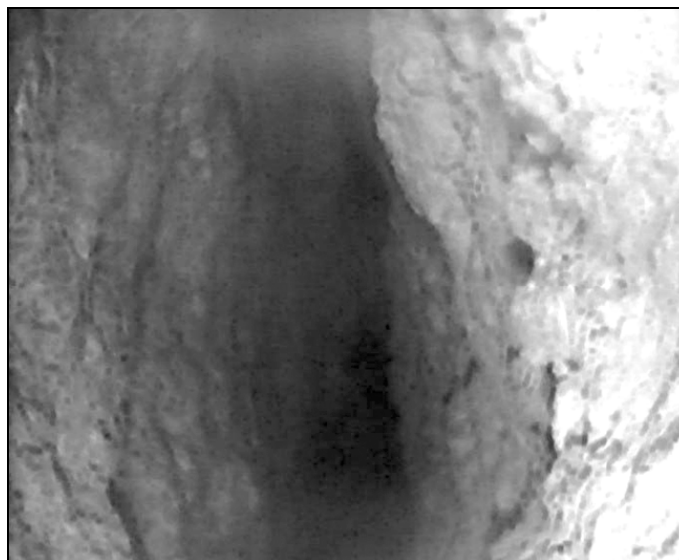
kiem procesów erozyjnych. Jednocześnie stwierdzono występowanie pęknięć i szczelin, których pochodzenie wiązać należy najprawdopodobniej z osiadaniem stropu jaskini. Na całej długości badanej szczeliny wapień był silnie zerodowany, nie stwierdzono występowania korzeni ani żadnych innych elementów flory. Wymiary szczelin osiągały maksymalne rozmiary rzędu 10 cm.

- 2) Szczelina nr 2. Zlokalizowano ją w stropie Sali Przejściowej. Wlot do szczeliny posiadał wymiary 20 × 40 cm. Strop wokół wlotu był spękany. Do głębokości około 0,5 m, szczelina była stosunkowo wąska, powyżej rozszerzała się. Badania wykonano do głębokości 1,3 m. Pobocznica szczeliny była wyraźnie poszarpana i nierównomierna. W zakresie głębokości od 0,7 do 1,3 m dominującymi były pustki o charakterze pierwotnym, których pochodzenie wiązać należy z procesami erozyjnymi. Poniżej, to jest od stropu jaskini do wysokości 0,7 m występowały wyraźne pionowe szczeliny. Rozwarcie szczelin było stosunkowo niewielkie i wynosiło od 1 do 5 cm.
- 3) Szczelina nr 3. Zlokalizowano ją w stropie Sali Przejściowej w bezpośrednim sąsiedztwie ociosu. W tym rejonie strop jaskini był silnie spękany, występuje tam sieć szczelin o znacznych rozmiarach. Szczelina nr 3 posiadała głębokość około 2,0 m. W miejscu tym występuje wyraźne odspojenie stropu od ociosu jaskini, grożące w każdej chwili zawaleniem. Obserwacje wnętrza szczeliny wykazały występowanie szeregu nierówności pochodzenia erozyjnego. Skała wewnątrz była nierówna i poszarpana. Rozwarcie szczeliny było duże i wynosiło miejscami około 20 cm (rys. 5). Wewnątrz szczeliny stwierdzono występowanie szeregu nieciągłości pochodzenia wtórnego, to jest spowodowanego osiadaniem stropu oraz powolnym niszczeniem struktury skały. Stateczność górotworu w przedmiotowym rejonie wydaje się być istotnie ograniczona. Dodatkowym czynnikiem świadczącym o istotnym osłabieniu struktury stropu było powiązanie wnętrza jaskini z powierzchnią terenu. Świadczyły o tym fragmenty systemu korzeniowego zaobserwowanego w szczelinie. Ponadto stwierdzono występowanie wilgotnej gliny na korpusie głowicy obserwacyjnej. Kształt, forma i rodzaj spękań stropu, jakie występowały w badanym rejonie świadczyły o istotnym stopniu naruszenia struktury stropu. W konsekwencji istnieje poważne ryzyko zawalenia się stropu jaskini w przedmiotowym rejonie.
- 4) Szczelina nr 4. Zlokalizowano ją w stropie Sali Przejściowej w odległości około 2 m od ociosu jaskini. Szczelina ta stanowiła kontynuację wtórnego systemu spękań systemu, jaki występował w rejonie badanego ociosu, obejmującego swym zasięgiem również szczelinę nr 3. Strop wokół badanej szczeliny był silnie spękany. Szczelina została spenetrowana do głębokości 2,4 m. Na tej głębokości stwierdzono obecność pustek o znacznych rozmiarach. Zauważalny był wpływ erozji na kształt i formę wytworzonych pustek. Dominującymi rodzajami nieciągłości były pęknięcia i szczeliny, których pochodzenie należy niewątpliwie wiązać z osiadaniem stropu jaskini ponad przestrzenią wybraną. Rozmiary szczelin były znaczne, rzędu 10 cm i powyżej. Niewątpliwie szczelina ta posiada połączenie z powierzchnią terenu, o czym świadczy występowanie drobnego systemu korzeniowego wewnątrz szczeliny (rys. 6). Jednocześnie stwierdzono,

że korpus kamery został w trakcie badań zanieczyszczony wilgotną gliną koloru żółtego, co potwierdza fakt kontaktu szczeliny z powierzchnią terenu.



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w salach jaskini Szachownica I oraz linii do profilowania georadarem



Rys. 5. Duże rozwarcie szczeliny nr 3 (rzędu 20 cm)



Rys. 6. Szczelina nr 4. Drobne korzenie na głębokości 2,1 m

W świetle uzyskanych wyników stwierdzić należy, że strop jaskini w badanym rejonie jest silnie zeszcelinowany, Zasięg szczelin i spękań jest duży, niewątpliwie istnieje połączenie z powierzchnią terenu. Istnieje, zatem realne zagrożenie opadu stropu jaskini.

3. Metodyka i wyniki badań georadarem struktury stropów jaskini

Metoda georadarowa wykorzystuje zjawisko propagacji impulsów elektromagnetycznych o dużej częstotliwości (50 MHz ÷ 2 GHz) dla odwzorowania zmienności własności elektrycznych ośrodków materialnych w tym geologicznych i budowlanych. Metoda radarowa w wariantcie refleksyjnym wykorzystuje zjawisko odbicia fal na granicach fizycznych (strukturalnych) w obrębie ośrodka geologicznego, różniących się wartościami stałej dielektrycznej i przewodności elektrycznej. Granice pustek zalegających w utworach geologicznych stanowią powierzchnie odbijające fale radarowe i z tego powodu metoda georadarowa wykorzystywana jest do ich detekcji i kartowania struktury przestrzennej. Pustkami w skałach, które są widoczne w obrazie refleksyjnych sekcji georadarowych są zarówno formy przestrzenne (kawerny) jak i liniowe (szczeliny).

Zasadą wykorzystywaną w metodzie jest zjawisko odbicia fal elektromagnetycznych od granic zmienności elektrycznych własności ośrodków geologicznych. Impulsy elektromagnetyczne emitowane z anteny nadawczej przenikają do badanego ośrodka i po odbiciu od granic fizycznych (zróżnicowania własności elektrycznych) powracają do anteny odbiorczej w czasie t zależnym od sumarycznej drogi przebiegu i prędkości rozchodzenia się fal w ośrodku. W bliskiej odległości od anteny, czoło emitowanej pola elektromagnetycz-

nego ma kształt sferyczny. W dużej odległości od anteny zmniejszona krzywizna czoła pola pozwala na aproksymowanie go płaszczyzną.

Prędkość propagacji fal radarowych w gruntach i skałach zależna jest od wielu ich cech fizykomechanicznych. Generalnie wykazuje ona silną zależność od wilgotności i porowatości. Wynika to z faktu, że woda i powietrze stanowią dla fal elektromagnetycznych dwie graniczne fazy wyznaczające przedział zmienności prędkości propagacji fali w ośrodkach materialnych ($V_r = 0,33 \div 3 \cdot 10^5$ km/s). Rzeczywiste wartości prędkości propagacji fal w gruntach oraz skałach zmieniają się w obrębie tego przedziału.

W jednorodnym ośrodku prędkość propagacji fal można określić ze związku:

$$V_r = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (1)$$

gdzie:

- V_r — prędkość propagacji impulsów radarowych w ośrodku,
- c — prędkość propagacji fal radiowych w próżni ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s),
- ϵ — względna stała dielektryczna ośrodka.

W ośrodkach warstwowanych prędkość propagacji fal jest średnią ważoną (wagą jest współczynnik obliczany na podstawie długość drogi fal w poszczególnych warstwach) z całej drogi przebiegu poszczególnych fal od anteny poprzez warstwy gruntowe do najgłębiej położonego w obrębie zastosowanego okna czasowego horyzontu refleksyjnego i z powrotem do anteny. Rejestracje radarowe w terenie przeprowadzono cyfrową aparaturą SIR2 wyprodukowaną przez amerykańską firmę Geophysical Survey Systems. Zastosowano antenę o częstotliwości nośnej 120 MHz. Pomiary wykonywano sposobem dynamicznym (antena przesuwana w sposób ciągły po profilu) w oknach czasowych odpowiednio: 200 oraz 300 ns. Prędkość skanowania wynosiła około 32 skan/sek, co przy stosowanej prędkości przesuwu anten odpowiada gęstości pokrycia ok. 60 do 100 tras fal radarowych na 1 mb profilu (rys. 7).



Rys. 7. Badania georadarem stropów sal jaskini Szachownica I

Pomiary wykonano na jednym profilu o kierunku W–E biegnącym po linii łamanej (wyznaczonej przez zastabilizowane na powierzchni punkty oznaczone symbolami A, GR1, GR3, GR2, GR7, GR10, GR13, GR14) — od sali Wejściowej do sali Puchacza. Profil ten oznaczono symbolem GPR1. Pozostałe profile usytuowano poprzecznie do profilu GPR1 na kierunkach zbliżonych do SW–NE. Te profile oznaczono symbolami GPR2, GPR3, GPR4 i GPR5. Dokładna lokalizacja profilu uwidoczniła jest na rysunku 4. Zakres ilościowy i specyfikację wykonanych rejestracji radarowych uwidoczniła w tabeli 1.

Dane zarejestrowane zostały w postaci cyfrowej na dysku magnetycznym, co pozwoliło na zastosowanie w procesie ich interpretacji numerycznych procedur przetwarzania grafiki prezentacyjnej (zmienne skale odwzorowania amplitudy, zapis offsetowy) oraz numerycznych metod oznaczania prędkości propagacji fal w danym ośrodku.

TABELA 1

Zestawienie rejestracji GPR

Numer profilu	Plik	Antena [MHz]	Okno [ns]	Długość [m]	Punkty
GPR1	249	120	200	78	A – GR1 – GR3 GR2 – GR7 – GR10 – GR13 – GR14
GPR1	250	120	300	78	A – GR1 – GR3 GR2 – GR7 – GR10 – GR13 – GR14
GPR2	251	120	300	39	GR15 – GR13 – G-14
GPR3	252	120	300	34	GR12 – GR10 – GR11
GPR4	253	120	300	37	GR9 – GR2 – GR8
GPR4	254	120	300	37	GR8 – GR2 – GR9
GPR4	255	120	100	37	GR9 – GR2 – GR8
GPR5	256	120	300	21	GR5 – GR3 – GR4
GPR5	257	120	200	21	GR4 – GR3 – GR5
GPR5	258	120	100	21	GR5 – GR3 – GR4
Łączna długość rejestracji GPR: 403 m					

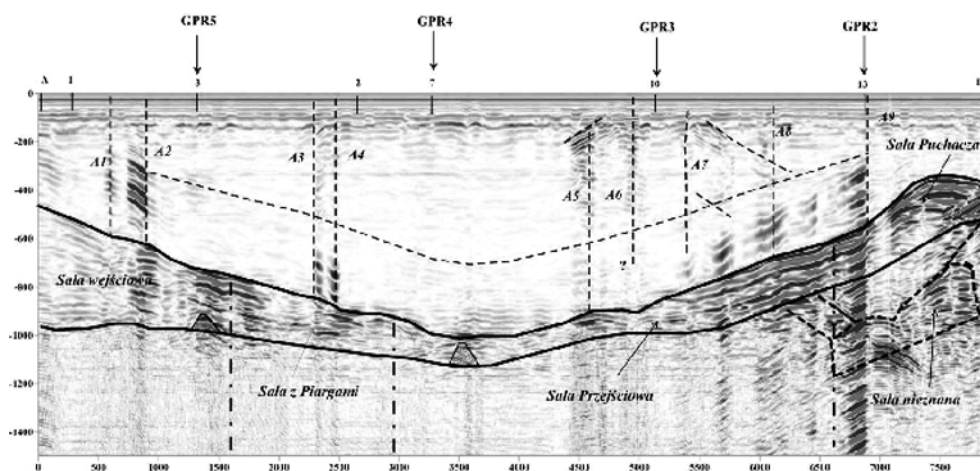
Rejestracje radarowe przekształcono do sekcji czasowych w postaci map bitowych oraz skalibrowano w skali odległości. Następnie dokonano transformacji skali czasu na skalę głębokości przyjmując dla wapienia wartość stałej dielektrycznej $\epsilon = 9$. Odpowiada to prędkości propagacji fal $V_r = 3 \cdot 10^5$ km/s. Przy takiej transformacji zasięg obrazowania radarowego na rejestracjach dokonanych w oknie 300 ns w skali wynosi 15 m.

W wyniku dokonanej transformacji otrzymano głębokościowe sekcje, które poddano interpretacji geotechnicznej. Interpretacja polegała na wyróżnieniu horyzontów refleksyj-

nych, które generowane są na stropie i spągach penetrowanych jaskiń oraz horyzontów lub miejsc wystąpienia fal dyfrakcyjnych, które generowane są na szczelinach w obrębie masywu wapiennego. Widoczne szczeliny o przebiegu pionowym i ukośnym wyróżniono linią przerywaną i opisano symbolami A1 do A9 (szczeliny o rozciągłości zbliżonej do kierunku S–N) Wyniki interpretacji dla profilu GPR1 przedstawiono na rysunku 8. W przekroju GPR1 uwidacznia się położenie sal: Wejściowej, z Piargami, Przejściowej i Puchacza.

Głębokość położenia stropu poszczególnych znanych sal zmienia się w następujących przedziałach:

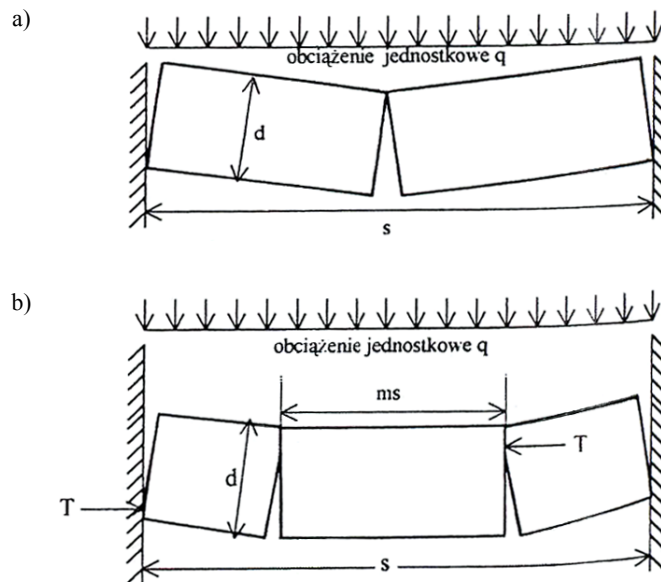
- Sala Wejściowa — głębokość stropu od 4,5 do około 8 m,
- Sala z Piargami — głębokość stropu od 8,5 do około 9 m,
- Sala Przejściowa — głębokość stropu od 4,5 do około 8 m,
- Sala Puchacza — głębokość stropu od 3 do około 5 m,
- Sala Złomisk — głębokość stropu od 8 do około 10 m.



Rys. 8. Głębokościowa sekcja radarowa profilu GPR1 w oknie czasowym 300 ns

4. Ocena stateczności Jaskini Szachownica I

Stropy sal jaskini Szachownica I w większości mają budowę płytową. Można je analizować jako płyty ciągłe, nieciągłe dwuprzęsłowe, nieciągłe trójprzędłowe i wieloprzęsłowe. W ostatnim stuleciu w literaturze geomechanicznej i górniczej rozwinęła się metoda analizy stateczności płyt nieciągłych (*voussoir beam*). Zajmowali się nią liczni badacze [2]. W większości rozpatrywano strop wyrobiska górniczego jako płytę nieciągłą dwuprzęsłową (rys. 9a) [1]. W ostatnim dziesięcioleciu pojawiły się schematy obliczeniowe płyt nieciągłych trójprzędłowych (rys. 9b) [7] oraz wieloprzęsłowych głównie w zastosowaniach programu symulacyjnego ośrodków blokowych UDEC.



Rys. 9. Schemat odspojonych płyt stropowych [2]:
a) płyta dwuprzęsłowa; b) płyta trójprzęsłowa

W przypadku płyty nieciągłej dwuprzęsłowej charakteryzującej się trzema pęknięciami pionowymi, pod wpływem jej ciężaru własnego oraz ewentualnych dodatkowych obciążeń związanych z brakiem samonośności warstw wyżej położonych, dochodzi do utworzenia się nośnego łuku siłowego trójprzegubowego, którego przegub środkowy położony jest w górnej części pęknięcia środkowego, zaś przeguby boczne położone są u dołu powierzchni styków bloku z otoczeniem. Przeguby te (zworniki) nie mają charakteru punktów materialnych, lecz obejmują określoną strefę wysokości szczeliny środkowej (przegub środkowy) lub szczelin bocznych (przeguby boczne). Wielkość tej strefy zależna jest od stadium osiadania bloków (ich obrotów wokół przegubów bocznych) [2].

Schemat obliczeniowy płyty nieciągłej dwuprzęsłowej obejmuje obliczanie następujących parametrów [1]:

— maksymalne naprężenia ściskające w przegubach określone z zależności:

$$\delta_{\max} = \frac{\gamma \cdot s^2}{4 \cdot N \cdot Z}, \text{ MPa} \quad (2)$$

gdzie:

γ — ciężar właściwy skał, kN/m^3 ;

s — rozpiętość płyty, m;

N — współczynnik długości w pionie styków bocznych, bezwymiarowy;

Z — wysokość siłowego łańcucha nośnego, m.

— współczynnik bezpieczeństwa przegubów (ze względu na ich kruszenie):

$$B_2 = \frac{R_c}{\delta_{\max}}, \quad (3)$$

gdzie R_c — wytrzymałość skał na ściskanie, MPa.

Wielkość γ występująca w równaniu (2) wyrażająca ciężar właściwy skał powinna obejmować również wpływ ewentualnego nachylenia warstw ($\gamma \cdot \cos\alpha$) oraz obciążenie dodatkowe płyt przez skały nadległe o mniejszej wytrzymałości.

Nieciągłe płyty skał stropowych wykazują trzy mechanizmy możliwego zniszczenia takie jak: kruszenie (miażdżenie) przegubów, wyboczenie oraz poślizg na powierzchniach pęknięć pionowych lub skośnych. Rola poślizgu rośnie w miarę wzrostu liczby przeseł płyty, na przykład przy zmianie z dwuprzęsłowej na trójprzęsłową lub wieloprzęsłową. Z tego względu współcześni autorzy poświęcają wiele uwagi badaniom teoretycznym laboratoryjnym i symulacyjnym nośności płyt trójprzęsłowych aspekcie poślizgu.

Poślizg na szczelinach pionowych tych płyt (rys. 9b) zachodzi, gdy [2]:

$$t = \frac{V}{T}, \quad (4)$$

gdzie:

t — współczynnik tarcia,

V — siła ścinająca,

T — siła osiowa.

Dla środkowych szczelin pionowych (tzn. ograniczających blok środkowy) i obciążenia ciężarem własnym płyty, siła ścinająca wynosi [2]:

$$V = \frac{q \cdot m \cdot s}{2}. \quad (5)$$

Dla szczelin brzeżnych siła ścinająca wynosi [7]:

$$V = \frac{q \cdot s}{2}, \quad (6)$$

gdzie:

$$q = \gamma \cdot d$$

$m \cdot s$ — długość bloku środkowego.

Ponieważ współczynnik m może być, co najwyżej równy 1, więc z porównania wzorów (5) i (6) wynika, że największe siły ścinające występują na szczelinach brzeżnych.

Siłę osiową można określić z zależności [7]:

$$T = \frac{r^2 \cdot E}{8 \cdot a \cdot E \cdot c - 4,16 \cdot r^{3,17} \cdot q} \cdot q \cdot d, \quad (7)$$

gdzie:

$$r = \frac{s}{d},$$

E — moduł sprężystości skał, MPa,

a — stała, $a = 0,84$ dla $E \approx 50$ GPa,

c — stała, $c = 1,0 + 0,95 \cdot m^{2,2}$.

Równanie (7) dotyczy szczelin zarówno pionowych jak i skośnych. Współczynnik bezpieczeństwa płyty trójprzęsłowej ze względu na poślizg na szczelinach pionowych obliczyć można w przybliżeniu według następującego równania [7]:

$$B_3 = \frac{4 \cdot m \cdot a \cdot c}{r}. \quad (8)$$

Równanie powyższe dotyczy przeciętnych warunków tarcia wyrażających się wielkością $t = 1,0$ lub $\varphi = 45^\circ$. Płyta jest stateczna jeżeli $B_3 > 1$.

Wyniki badań spękań stropów jaskini wskazują na to, że stropy poszczególnych sal należy rozpatrywać jako nieciągłe płyty wieloprzęsłowe. Dlatego poniżej przedstawiono szacunkowe wyniki obliczeń współczynnika bezpieczeństwa B_3 , które wykonano dla stropu modelowanego płytą trójprzęsłową. W oparciu o przeprowadzone badania [6] przyjęto następujące dane dla Sali Przejściowej:

- rozpiętość płyty $s = 13,2$ m,
- grubość płyty $d = 2,0$ m,
- długość bloku środkowego $m \cdot s = 7,2$ m,
- moduł sprężystości $E = 9,947$ GPa,
- stała $a = 0,167$,
- stała $c = 1,255$,
- współczynnik $m = 0,55$.

Po podstawieniu powyższych danych do wzoru (8) uzyskano:

$$B_3 = \frac{4 \cdot m \cdot a \cdot c}{r} = \frac{4 \cdot 0,55 \cdot 0,167 \cdot 1,255}{6,6} \cong 0,07.$$

Otrzymana wartość współczynnika bezpieczeństwa wskazywałaby na to, że płyta znajduje się w końcowym stadium deformacji.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania oraz oględziny poszczególnych sal Jaskini Szachownica I wykazały, że skały tworzące stropy jaskiń są spękane w różnych kierunkach. Dominują spękania na kierunku SW–NE. Jest to kierunek prostopadły do biegu ciągu jaskiń. Spękania na kierunku (NW–SE) jaskiń są rzadsze i poza głównymi w centralnej części Sali Wejściowej i Sali Przejściowej koncentrują się w stropie Sali Złomowisk. W takich warunkach zastosowanie trójprzęsłowego modelu stropu do oceny stateczności Sali Przejściowej wydaje się być poprawne. Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskazują, że współczynnik bezpieczeństwa tego stropu jest bardzo niski.

Z badań introskopowych wynika jednak, że szczeliny mają nierówne powierzchnie i kształt (zmieniające się rozwarcie w linii ich biegu). Paradoksalnie wpływa to korzystnie na stateczność stropu gdyż, zwiększa powierzchnię tarcia na załomach. Umożliwia również blokom skalnym uzyskanie nowych punktów podparcia w przypadku wystąpienia częściowego poślizgu płyt.

Badania georadarowe wykazały, że w podłożu znanych jaskiń istnieje drugi ciąg jaskiń. Grubość warstwy skalnej pomiędzy tymi jaskiniami jest niewielka. Na stateczność górnego poziomu jaskiń wpływ ma, więc również zachowanie się stropów dolnego poziomu jaskiń, gdyż to on stanowi podłoże dla górnego poziomu jaskiń. W takich warunkach ocena stateczności sal Jaskini Szachownica (a w szczególności Sali Puchacza) na bazie pozyskanych danych jest zadaniem bardzo trudnym. Wymaga ona dalszych badań zorientowanych na dokładniejszą charakterystykę warstw skalnych w stropie jaskiń (umożliwiających określenie modelu bloczności) oraz rozpoznanie struktury warstw skalnych zalegających w spągu sal Jaskini.

LITERATURA

- [1] *Diederichs M.S., Kaiser P.K.*: Stability of large excavations in laminated hard rock masses: the voussoir analogue revisited. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* nr 36. Pergamon, 1999
- [2] *Kidybiński A.*: Nośność stropu wyrobisk komorowych w fazie rozwiniętej eksploatacji złoża LGOM. *Przegląd Górniczy*, nr 7–8, 2002
- [3] Plan zarządzenia odtworzeniem siedliska dla Obszaru Natura 2000
- [4] *Polonius A.*: Ocena możliwości zabezpieczenia Jaskini „Szachownica I” w Rezerwacie „Szachownica” na podstawie przesłanek geomorfologiczno-geologicznych. Katowice, Zakład Usług Badawczo-Rozwojowych „TERRA INCOGNITA” 2001
- [5] *Postawa T.*: Plan lokalnej współpracy na rzecz ochrony obszaru NATURA 2000-PLH240004. Szachownica, 2007
- [6] Praca zbiorowa: Ekspertyza określająca możliwości, metody i koszty zabezpieczenia jaskini Szachownica — projektowanego Specjalnego Obszaru Ochrony Siedlisk NATURA 2000. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Głównego Instytutu Górnictwa, 2008 (praca niepublikowana)
- [7] *Ran J.Q., Passaris E.K.S., Mottahed P.*: Shear sliding failure of jointed roof in laminated rock mass. *Rock Mech. Rock Engng.* Springer-Verlag, t. 27, nr 4, 1994