

Zabezpieczanie tuneli podczas drążenia. Analiza zdarzeń i zaplecze techniczne w zakresie ratownictwa górniczego

mgr inż. Mirosław BAGIŃSKI

mgr inż. Jerzy KRÓTKI

mgr inż. Marcin ŚWIERCZEK

Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego S.A., Bytom

TREŚĆ: Artykuł analizuje metody drążenia tuneli (NATM/NTM, TBM), identyfikuje typowe zagrożenia oraz klasyfikuje zdarzenia niebezpieczne według technologii i charakteru zjawisk (geologiczne, technologiczne, eksploatacyjne). Omówione zostały główne przyczyny awarii, niekorzystne warunki geologiczne, błędy projektowe i wykonawcze, awarie maszyn oraz czynniki zewnętrzne. Przedstawiono przykłady współczesnych niebezpiecznych zdarzeń zagranicznych (m.in. Indie, Stany Zjednoczone) oraz krajowych (Warszawa, Węgierska Górka, Łódź), wyciągnięto wnioski dotyczące przyczyn i efektywności działań ratowniczych. Szczególny nacisk położono na zaplecze techniczne ratownictwa górniczego: strukturę i wyposażenie Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. (pogotowia specjalistyczne, aparatura pomiarowa, systemy inertyzacji, pompy, sprzęt do drążenia chodników ratowniczych, aparaty oddechowe o długim czasie ochronnego działania) oraz procedury organizacji i prowadzenia akcji ratowniczych zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa. Wnioski podkreślają konieczność integracji służb ratowniczych oraz stałego doskonalenia zaplecza technicznego i szkoleń w celu minimalizowania ryzyka oraz skracania czasu reakcji, prowadzenia działań ratowniczych i likwidacji skutków katastrof, prowadzenia działań ratowniczych i likwidacji skutków katastrof w sytuacjach kryzysowych.

SŁOWA KLUCZOWE: ratownictwo górnicze; drążenie tuneli; katastrofy podczas drążenia tuneli; akcja ratownicza; sprzęt ratownictwa górniczego

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój infrastruktury podziemnej sprawia, że budowa tuneli staje się coraz ważniejszym elementem współczesnego transportu drogowego, kolejowego i miejskiego. Realizacja tego typu inwestycji, prowadzona zarówno metodami konwencjonalnymi, takimi jak NATM i NTM, jak i z wykorzystaniem maszyn TBM, wymaga dostosowania technologii do złożonych warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Prowadzenie robót podziemnych wiąże się jednak z występowaniem szeregu zagrożeń, których charakter i skala zależą m.in. od zastosowanej technologii, warunków górotworu oraz organizacji procesu budowlanego. Zawały i obwały, dopływy wody, zagrożenia gazowe, pożary czy awarie maszyn mogą stwarzać bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia pracowników. Ograniczona przestrzeń

oraz utrudniony dostęp do miejsca zdarzenia komplikują również prowadzenie działań ratowniczych. Wraz z rozwojem budownictwa tunelowego rośnie zatem znaczenie odpowiedniego przygotowania systemu ratowniczego, obejmującego zarówno właściwą organizację, jak i dostęp do specjalistycznego sprzętu oraz wyszkolonych kadr. Szczególne możliwości w tym zakresie posiada ratownictwo górnicze, którego doświadczenie w prowadzeniu działań w trudnych warunkach podziemnych może być wykorzystane podczas realizacji inwestycji tunelowych. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane metody drążenia tuneli, związane z nimi zagrożenia oraz przykłady współczesnych zdarzeń w Polsce i na świecie. Omówiono też możliwości techniczne i organizacyjne Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu oraz znaczenie właściwego przygotowania inwestycji tunelowych do prowadzenia akcji ratowniczych.

2. Metody drążenia tuneli

2.1. Metoda tunelowania NATM

Metoda tunelowania NATM to technika budowy oparta na wykorzystaniu geologicznych właściwości otaczającego gruntu jako części nośnej konstrukcji. Stabilizacja następuje poprzez szybkie nałożenie betonu natryskowego (torkretu), kotew i elementów wzmacniających, a wspierana jest przez ciągły monitoring w celu kontroli naprężeń. Podejście obserwacyjne metody NATM opiera się na ciągłym obserwowaniu zachowania gruntu i interpretacji danych geologicznych w celu dostosowania procesów zabudowy w czasie rzeczywistym.

Wzmocnienie aktywne polega na zastosowaniu elastycznej wstępnej obudowy z torkretu, siatki stalowej i kotew. Tunel jest drążony sekwencyjnie, małymi etapami, co minimalizuje naruszenie struktury gruntu. W skład metody NATM wchodzi zwykle obudowa wstępna (tymczasowa) oraz ostateczna obudowa betonowa, często z warstwą drenażową. Metoda ta jest bardzo wszechstronna, co pozwala na jej stosowanie w różnych warunkach geologicznych. Była ona szeroko stosowana m.in. przy budowie w Polsce:

- tunelu TS-26 na trasie S3 Bolków – Kamienna Góra, tunel wydrążony w skale (dł. ok. 2,3 km) został oddany do ruchu 31 lipca 2024 roku;
- tunelu pod Luboniem Małym (S7 „Zakopianka”), inwestycja obejmująca budowę najdłuższego wówczas pozamiejskiego tunelu drogowego (długość ok. 2 km) trwała ponad 6 lat;
- obejścia Węgierskiej Górki (S1), budowa czterech naw tunelowych w Beskidach. Inwestycja została udostępniona kierowcom 23 października 2025 roku. Odcinek ten obejmuje dwa dwunawowe tunele o długościach ok. 830 m i 1000 m.

2.2. Norweska metoda tunelowania NTM

Norweska metoda tunelowania NTM jest zasadniczo bardzo podobna do austriackiej metody tunelowania (NATM). Obie kładą nacisk na wykorzystanie naturalnej zdolności górotworu do samonośności. Wykorzystanie samonośności minimalizuje konieczność sztucznego podparcia poprzez wykorzystanie nośności otaczających mas skalnych. Inżynierowie dążą do tego, aby górotwór stał się integralną częścią ostatecznej konstrukcji tunelu. Elastyczne i obserwacyjne podejście, opisywane jako podejście typu „projektuj w trakcie” (ang. design as you go), oznacza, że faktyczne warunki gruntowe są na bieżąco monitorowane, a system podparcia dostosowywany w czasie rzeczywistym do zaobserwowanych warunków geologicznych, a nie sztywno określony z góry.

Wzmocnienie tunelu odbywa się stopniowo, w miarę postępu drążenia. Początkowe podparcie, które jest elastyczne i akceptuje pewne odkształcenia, może obejmować kombinację betonu natryskowego z włóknami (torkretu), kotew skalnych i łuków stalowych. Nieodłącznym elementem NTM (podobnie jak NATM) jest ciągłe monitorowanie zachowania górotworu oraz skuteczności zastosowanego podparcia. Pomiary przemieszczeń naprężeń pozwalają na optymalizację konstrukcji i zapewnienie bezpieczeństwa. NTM jest

norweską odmianą podejścia obserwacyjnego zbliżoną do NATM; w Polsce nie występuje jako odrębna, powszechnie stosowana metoda. Najdłuższy tunel drogowy świata Lærdal (Norwegia, długość ok. 24,5 km) był realizowany z zastosowaniem norweskiego podejścia do obserwacyjnego projektowania i doboru obudowy tunelowej.

2.3. Metoda tunelowania TBM

Metoda tunelowania TBM to nowoczesna, zmechanizowana technologia wykorzystywana do drążenia tuneli o przekroju kołowym w różnych warunkach geologicznych. Minimalizuje ona zakłócenia na powierzchni gruntu i jest często stosowana w mocno zurbanizowanych obszarach. Głównym elementem jest obrotowa głowica tnąca, która drąży grunt lub skałę. Kształt i typ narzędzi tnących na głowicy są dobierane do konkretnych warunków geologicznych (np. twarda skała, miękki grunt, warunki wodne). Wydobyty materiał (urobek) jest transportowany z przodu maszyny za pomocą przenośników taśmowych lub innych systemów (np. przenośników ślimakowych w maszynach typu EPB) do tyłu, a następnie na powierzchnię. Maszyna napędzana jest silownikami hydraulicznymi, które naciskają na ostatnio zainstalowany fragment obudowy tunelu, pchając maszynę do przodu. Natychmiast za głowicą drążącą, w osłoniętej części maszyny, instalowane są prefabrykowane segmenty (tzw. tubingi), tworzące trwałą, segmentową obudowę tunelu. Zapewnia to natychmiastową stabilizację nowo wydrążonej sekcji.

Podczas drążenia czoło (przodek) wykopu musi być podparte przez maszynę TBM, aby zapobiec zapadnięciu się gruntu. Uzyskanie pełnej równowagi ciśnień bez strat przodka jest ekstremalnie trudne, a ich wystąpienie prowadzi do osiadania powierzchni. Skała osiadania zależy głównie od efektywności równoważenia ciśnień gruntu przez maszynę TBM i głębokości tunelu.

W Polsce metoda TBM została wykorzystana do realizacji:

- tunelu pod Świną (Świnoujście) o średnicy 13,46 m i długości 1,44 km, który łączy wyspy Uznam i Wolin, droga krajowa nr 93. Oddany do użytku we wrześniu 2023 r.;
- tunelu drogowego na S19 Rzeszów Południe – Babica (Via Carpatia), gmina Boguchwała/Babica 2023–2025 r. (przebiecie pierwszej nawy nastąpiło w styczniu 2026 r.). Drążony przez „Karpatkę” o średnicy ponad 15 m – jeden z największych TBM w Europie, tunel ma długość 2255 m (dwie nawy). Finalizacja inwestycji planowana jest w 2028 r.;
- tunelu kolejowego średnicowego w Łodzi (pod centrum miasta), łączącego stację Łódź Fabryczna z Łódź Kaliska i Łódź Żabieniec. Drążenie dwóch tuneli o łącznej długości ponad 7 km. Tarcza o średnicy 8,76 m ruszyła w lipcu 2021 r., większa o średnicy 13,04 m w listopadzie 2021 r. Prace drążeniowe będą trwały z przerwami wynikającymi z awarii oraz warunków gruntowych do 2028 r. Finalne otwarcie planowane jest na przełomie 2030 i 2031 r.;
- II linii metra w Warszawie (odcinki wolskie, bemowskie, bródnowskie). Realizacja była podzielona na wiele etapów. Główne prace drążenia TBM odby-

wały się w latach 2013–2021 r. (różne tarcze: Anna, Maria, Krystyna, Elisabetta, Wiktoria, Katarzyna). Drażenie tuneli odbywało się pod Wisłą i w gęstej zabudowie miejskiej. Poszczególne stacje oddawane były etapami (ostatnie na Bemowie i Bródnie otwarto w 2022 r.);

- tunelu kolejowego na linii nr 104 Limanowa – Kłęczany (Podłęże – Piekiełko). Do budowy tunelu kolejowego (fragmentu LK104) pod Limanową (Pisarzowa) wykorzystano dwie maszyny TBM: główną tarczę Jadwiga o średnicy 10,6 m (do drażenia tunelu kolejowego) oraz mniejszą Kinga o średnicy 4,8 m (do tunelu ewakuacyjnego). Długość wydrążonych tuneli wynosi ok. 3,75 km. Prace zostały zakończone w 2026 r.

3. Zagrożenia podczas drażenia tuneli

Analiza współczesnych inwestycji tunelowych wskazuje na istnienie bezpośredniej korelacji między stopniem skomplikowania projektu a ryzykiem wystąpienia sytuacji kryzysowych. Wzrost skali trudności wynika przede wszystkim z wydłużania nitek tuneli oraz konieczności ich drażenia w nieprzewidywalnych, często silnie nawodnionych lub niestabilnych formacjach geologicznych. Dodatkowym wyzwaniem jest powszechne stosowanie TBM. Choć jest to technologia zmechanizowana i nowoczesna, wiąże się ze specyficznymi zagrożeniami technicznymi oraz logistycznymi zwłaszcza w przypadku awarii głowicy lub pożaru wewnątrz maszyny. Wszystko to dzieje się w obliczu coraz bardziej restrykcyjnych norm bezpieczeństwa, które wymagają od wykonawców wdrażania zaawansowanych systemów prewencji, a od służb ratowniczych stałej gotowości do prowadzenia skomplikowanych akcji ratowniczych w warunkach podziemnych.

W Polsce drażenie we fliszu karpackim dodatkowo komplikuje prowadzenie robót ze względu na heterogeniczną budowę geologiczną, obecność łupków, mułowców i piaskowców, jak również liczne strefy osłabienia, spękania, uskoki oraz zmienne warunki wodonośne, co zwiększa ryzyko zawałów, nagłych dopływów wody i incydentalnych zjawisk związanych z wpływem gazów. Dodatkowe wyzwanie stanowi wysoka podatność obszarów fliszowych na rozwój osuwisk, które są jednym z najważniejszych zagrożeń geologicznych podczas wykonywania portali tuneli i robót powierzchniowych.

Zarówno w teorii, jak i w praktyce inżynierskiej podkreśla się, że ryzyko katastrof rośnie wraz z:

- zwiększeniem długości tuneli,
- złożonymi warunkami geologicznymi,
- intensywnym wykorzystaniem maszyn TBM,
- rosnącymi wymaganiami bezpieczeństwa.

3.1. Podział katastrof w tunelach ze względu na zastosowaną technologię wykonawczą

Podział katastrof w budownictwie podziemnym opiera się przede wszystkim na powiązaniu specyficznych zagrożeń z zastosowaną technologią wykonawczą. Metoda drażenia determinuje rodzaj oddziaływań między maszyną lub obudową a otaczającym gruntem, co wpływa bezpośrednio na charakter ewentualnych awarii.

Dokonanie podziału według metod NATM/NTM oraz TBM pozwala na określenie ryzyka, dobranie odpowiednich procedur zapobiegawczych oraz przygotowanie właściwego wyposażenia i taktyki działań ratowniczych.

3.2. Tunele drażone metodą NATM i NTM

W metodach konwencjonalnych, takich jak NATM i NTM, bezpieczeństwo konstrukcji opiera się na ścisłej współpracy obudowy z górotworem, co czyni te techniki szczególnie podatnymi na gwałtowne zmiany warunków gruntowych. Najpoważniejszym zagrożeniem są obwały i zawały skał oraz utrata stateczności przodka, wynikające z odsłonięcia górotworu przed nałożeniem torkretu. Równie niebezpieczne są niekontrolowane deformacje obudowy pod wpływem nadmiernych naprężeń oraz nagłe wypływy wody i kurzawki, które mogą prowadzić do zalania przodka i podmycia świeżo wykonanej konstrukcji.

Najczęstsze zagrożenia:

- obwały i zawały skał,
- niekontrolowane deformacje obudowy,
- wypływy wody i kurzawki,
- utrata stateczności przodka.

3.3. Tunele drażone maszynami TBM

W przypadku drażenia metodą zmechanizowaną (TBM) ryzyko katastrof przesuwają się w stronę awarii technicznych systemu oraz utraty kontroli nad ciśnieniem w przodku maszyny. Do najbardziej krytycznych zdarzeń należy zakleszczenie tarczy w gruncie, często wywołane nieprzewidywanym pęcznieniem skał lub zawałem materiału nad maszyną, co uniemożliwia jej dalszy postęp. Równie niebezpieczna jest utrata ciśnienia w komorze roboczej, która prowadzi do gwałtownego osiadania.

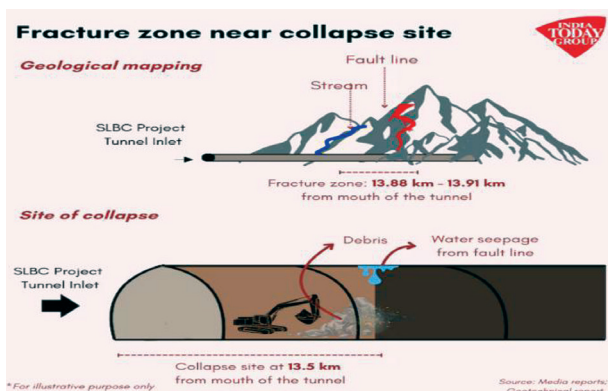
Poważne zagrożenie stanowią także awarie systemów napędowych, wstrzymujące proces drażenia w miejscach o niestabilnej geologii, oraz nagłe przebicie do nieprzewidywanych warstw wodonośnych. To ostatnie może skutkować gwałtownym zalaniem maszyny, zniszczeniem drogiej aparatury elektronicznej oraz stworzeniem bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia i życia załogi przebywającej wewnątrz drażonego tunelu.

Typowe katastrofy:

- zakleszczenie tarczy,
- awarie systemów napędowych,
- utrata ciśnienia w komorze roboczej,
- przebicie do nieprzewidywanych warstw wodonośnych.

3.4. Podział według charakteru zjawiska

Podział zdarzeń niebezpiecznych według charakteru zjawiska pozwala na dopasowanie strategii działań ratowniczych do konkretnego typu zagrożenia występującego podczas drażenia tuneli: od gwałtownych ruchów masywu skalnego, przez awarie systemów mechanicznych, aż po incydenty logistyczne wewnątrz wyrobiska tunelowego. Zdarzenia te mają istotne znaczenie dla sprawnego realizacji zadań podczas prowadzenia akcji



► Rys. 1. Schemat strefy uskokowej w rejonie miejsca zawалу

► Fig. 1. Diagram of the fault zone near the collapse site

ratowniczej. Przedstawione w artykule zestawienie dzieli zdarzenia na grupy geologiczne, technologiczne i eksploatacyjne, wskazując na ich specyficzne cechy, które determinują dobór specjalistycznego sprzętu ratowniczego. Do klasycznych kategorii należy również włączenie zagrożeń gazowych, obecność i nagłe uwolnienia gazów (np. metanu) znacząco zmieniają taktykę działań, wymagają ciągłego monitoringu gazowego, systemów wentylacyjnych o dużej wydajności, procedur odcięcia źródeł ewentualnego zapłonu oraz specjalistycznego sprzętu ochrony osobistej i detekcji. Integracja zagrożeń gazowych z klasyfikacją pozwala na pełniejsze przygotowanie planów ratowniczych, właściwy dobór środków ochrony i szybką adaptację taktyki w warunkach podwyższonego ryzyka.

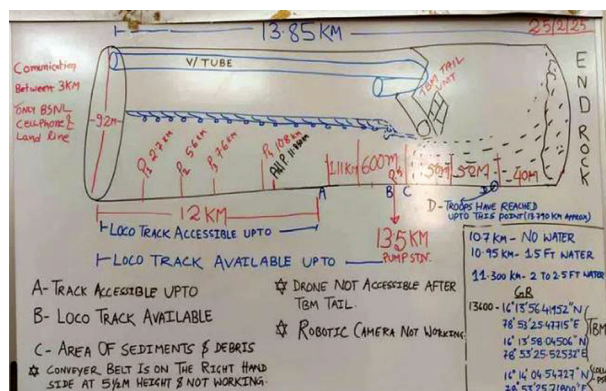
3.4.1. Zjawiska geologiczne

Zjawiska o charakterze geologicznym wynikają bezpośrednio z nieprzewidywanych reakcji masywu skalnego lub gruntu na proces drążenia. Do najgroźniejszych należą zawaly skał oraz osunięcia mas ziemnych, które mogą prowadzić do zasypania przodka i zniszczenia wykonanej obudowy. Równie krytycznym zagrożeniem są nagłe wypływy wody pod wysokim ciśnieniem oraz przebicie do naturalnych pustek krasowych, które stwarzają ryzyko zalania tunelu, wymuszając natychmiastową ewakuację załogi i użycie specjalistycznych pomp o ogromnej wydajności. Katastrofy o charakterze geologicznym możemy sklasyfikować następująco:

- zawaly skał,
- osunięcia mas ziemnych,
- wypływy wody pod ciśnieniem,
- przebicie do pustek krasowych.

3.4.2. Zagrożenie metanowe

Możliwość występowania metanu w wyrobiskach tunelowych stanowi specyficzne i poważne zagrożenie związane z lokalnymi warunkami geologicznymi i tektonicznymi, szczególnie w regionach o występowaniu warstw węglonośnych, szczelinowych systemów skalnych lub przy przekrojach przecinających stare wyrobiska górnicze. Metan jest gazem bezwonny i wybuchowy w szerokim zakresie stężeń, a jego nagłe uwolnienie do przestrzeni roboczej może w niesprzy-



► Rys. 2. Szkic sytuacyjny rejonu miejsca zawalu

► Fig. 2. Layout sketch of the tunnel collapse zone

jających okolicznościach doprowadzić do katastrofy. W przypadku wykrycia podwyższonego stężenia metanu działania ratownicze muszą priorytetowo obejmować: natychmiastowe wstrzymanie prac, wycofanie pracowników z zagrożonej strefy, zablokowanie źródeł zapłonu, wzmocnienie wentylacji i pomiary kontrolne.

3.4.3. Awarie technologiczne

Awary technologiczne wynikają bezpośrednio z błędów ludzkich oraz zawodności systemów technicznych wykorzystywanych podczas budowy tuneli. Zagrożeniem są m.in. błędy projektowe i niewłaściwy dobór obudowy, które mogą prowadzić do niedoszacowania sił działających na konstrukcję i jej przedwczesnego zniszczenia. Równie niebezpieczne jest nieprawidłowe prowadzenie robót, naruszające reżim technologiczny, oraz poważne awary maszyn TBM, które w krytycznych momentach drążenia unieruchamiają systemy wspierania przodka, stwarzając ryzyko zapadnięcia się terenu nad tunelem.

Awary technologiczne możemy podzielić ze względu na:

- błędy projektowe,
- niewłaściwy dobór obudowy,
- nieprawidłowe prowadzenie robót,
- awarii maszyn TBM.

3.4.4. Wypadki eksploatacyjne

Wypadki eksploatacyjne podczas drążenia tuneli stanowią grupę zagrożeń związanych z funkcjonowaniem zaplecza technicznego i logistyką wewnątrz budowanego obiektu. Najpoważniejszym z nich są pożary maszyn i instalacji, które w ograniczonej przestrzeni prowadzą do błyskawicznego zadymienia i odcięcia dróg ewakuacyjnych. Kolizje pojazdów transportujących urobek lub prefabrykaty mogą trwale zablokować wąskie drogi transportowe i w efekcie sparaliżować ewentualną akcję ratowniczą. Równie krytyczne są awary systemów wentylacyjnych.

Wypadki eksploatacyjne możemy pogrupować w następujący sposób:

- kolizje pojazdów,
- awary wentylacji,
- awary systemów energetycznych.



► Rys. 3. Działania ratownicze w rejonie zawalu
► Fig. 3. Rescue operations in the collapse zone



► Rys. 4. Poszukiwanie szczątków ludzkich w zawale
► Fig. 4. Search for human remains in the tunnel collapse

3.5. Współczesne światowe katastrofy podczas drążenia tuneli

Analiza współczesnych katastrof tunelowych na świecie stanowi materiał badawczy dla służb ratowniczych, pozwalający na identyfikację mankamentów różnych technologii drążenia. Opisane zdarzenia dowodzą, że zawodzić mogą zarówno tradycyjne metody górnicze, jak i najnowocześniejsze maszyny TBM, a o powodzeniu akcji ratowniczej decyduje często połączenie innowacyjnej technologii z nieszablonywym wykorzystaniem metod tradycyjnych oraz sprawnością jednostek ratownictwa specjalistycznego.

3.5.1. Katastrofa w indyjskim drążonym tunelu Srisaïlam Left Bank

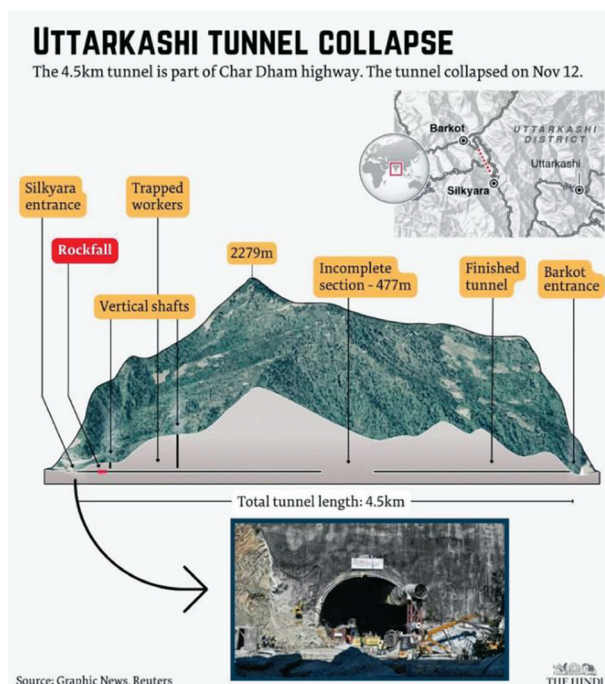
22 lutego 2025 r. w tunelu Srisaïlam Left Bank Canal (SLBC) w dystrykcie Nagarkurnool (Telangana, Indie) doszło do gwałtownego wdarcia wody i szlamu, które spowodowało zawalenie przodka tunelu i uwięzienie ośmiu pracowników. Zdarzenie miało miejsce w warunkach bardzo skomplikowanego górzystego pasma Nallamala Hills, w rejonie o udokumentowanych strefach uskokowych (rys. 1).

Dostępne relacje wskazują, że niewielki przeciek, uznany za zjawisko rutynowe, był wczesnym sygnałem awarii. Jego eskalacja doprowadziła do niekontrolowanego wdarcia wody i luźnego urobku, uszkodzenia obudowy przodka oraz zawalu stropu w bezpośrednim sąsiedztwie maszyny TBM. Akcja ratownicza była wieloetapowa i wymagała zaangażowania licznych służb: NDRF (Krajowa Siła Reagowania na Katastrofy), wyspecjalizowanej formacji centralnej do działań poszukiwawczo-ratowniczych przy katastrofach, oraz SDRF (Stanowa Siła Reagowania na Katastrofy), formacji stanowej zapewniającej szybką lokalną interwencję. Do działań włączono także Siły Zbrojne Indii, specjalistów od tuneli oraz doświadczonych górników i ratowników górniczych. Zwrócono się również o wsparcie do Międzynarodowej Organizacji Ratownictwa Górniczego – International Mine Rescue Body (IMRB), w tym do Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. (dalej: CSRG S.A.), w której zespół doradczy na bieżąco analizując online stan katastrofy, rekomendował zespołom ratowniczym (rys. 2).

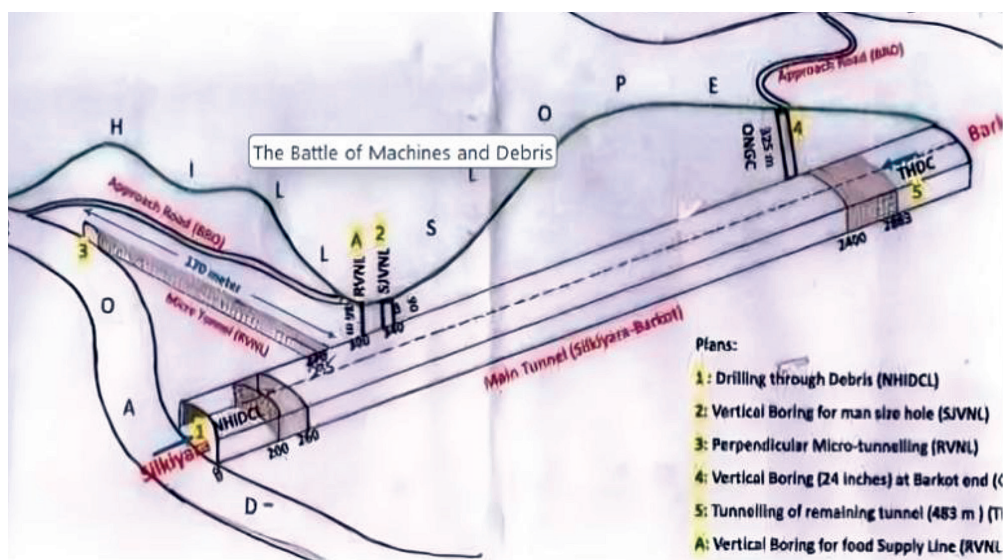
Działania ratownicze obejmowały m.in. utrzymanie właściwego przewietrzania, intensywne odpompowywanie wody, mechaniczne i ręczne usuwanie urobku, przywrócenie i wykorzystanie przenośnika taśmowego, cięcie elementów TBM oraz zastosowanie technologii zdalnych robotów inspekcyjnych i psów do wykrywania szczątków ludzkich (rys. 3 i 4).

Ze względu na niestabilność ostatnich kilkudziesięciu metrów strefy zawalu bezpośrednie wejścia ratowników były ograniczone, akcja stopniowo przeszła z fazy ratunkowej w fazę odzysku infrastruktury, a w marcu 2025 r. potwierdzono odnalezienie ciał niektórych pracowników. Po wydobyciu dwóch ciał sześć osób pozostawało nieodnalezionych i było oficjalnie uznanych za zaginione, a rząd wypłacił odszkodowania rodzinom wszystkich pracowników.

Parametry tunelu i zakres awarii, według dostępnych informacji, przedstawiały się następująco: docelowa długość tunelu wynosiła ok. 44 km, przekrój ok. 9,36 m



► Rys. 5. Przekrój geologiczno-inżynierski masywu skalnego w osi drążonego tunelu
► Fig. 5. Engineering-geological cross-section of the rock mass along the tunnel axis



► Rys. 6. Strategia wielowariantowego prowadzenia akcji ratowniczej

► Fig. 6. Multi-agency and multi-directional rescue strategy

(ok. 30,7 stopy), ratownicy pracowali w rejonie ok. 14 km od wlotu, a bezpośrednio dotknięta strefa zawału obejmowała ok. 150–200 m, z ostatnimi ~50 m uznanymi za szczególnie niebezpieczne dla wejścia ludzi. Mechanizm awarii najprawdopodobniej obejmował lokalne osłabienie obudowy, gwałtowny napływ wody przez szczeliny i pęknięcia oraz wtórne zawalenie stropu, co w połączeniu z uszkodzonym TBM uniemożliwiło szybką ewakuację.

3.5.2. Katastrofa w indyjskim drążonym tunelu Silkyara – Barkot (Himalaje)

12 listopada 2023 r. o godzinie 05:30 na 270 m od portalu wlotowego drążonego tunelu drogowego Silkyara Bend – Barkot w dystrykcie Uttarkashi (Indie, pasmo Himalajów) doszło do zawału spękanych skał osadowych i łupków, co zapoczątkowało trwającą siedemnaście dni podziemną akcję ratowniczą. Akcja ratownicza odbywała się w rejonie o wysokiej geologicznej niestabilności górotworu, spowodowanej bliskością strefy aktywnego uskoku tektonicznego (rys. 5). Zaangażowano ponad 200 ratowników, w tym indyjskie formacje ratownictwa kryzysowego NDRE, wojsko.

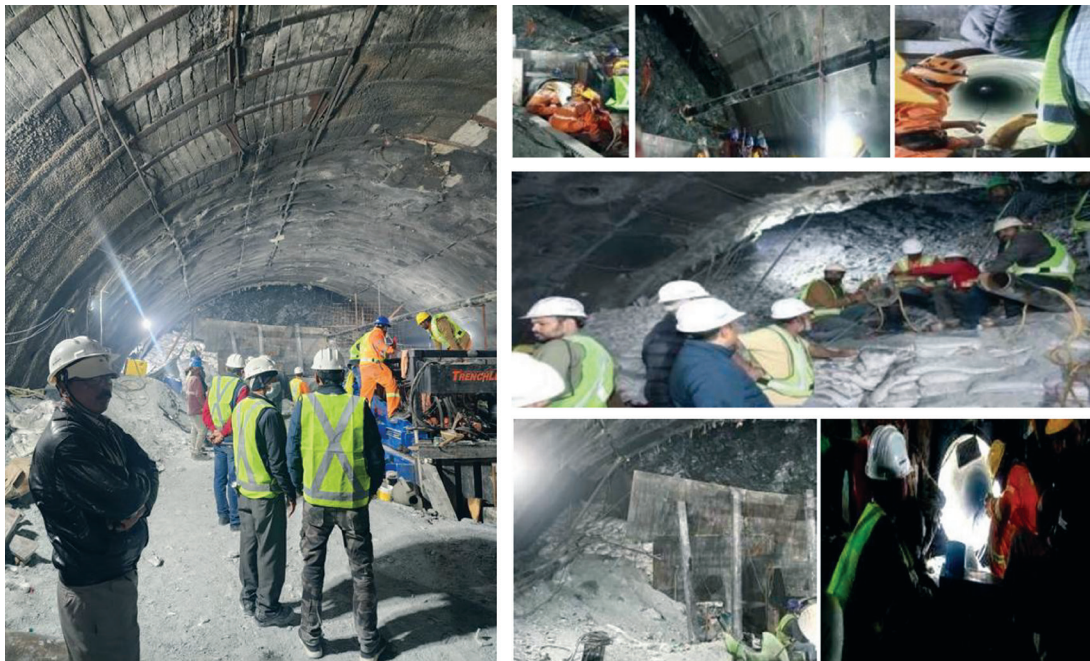
Pierwotne wyrobisko tunelowe, którego projektowana długość wynosiła 4,53 km, realizowane było metodą NATM. W momencie wystąpienia zawału w strefie przyprzodkowej pozostawał rurociąg technologiczny o średnicy 120 mm, który następnie wykorzystano jako kanał komunikacji z uwięzionymi pracownikami. Wykorzystanie istniejącej infrastruktury w pierwszej fazie akcji ratowniczej umożliwiło tłoczenie sprężonego powietrza, wody i pakietów medycznych. Ze względu na wysokie ryzyko inicjacji wtórnych tąpnięć tektonicznych i obwałów grawitacyjnych sztab akcji wdrożył zintegrowaną strategię pięciu zdyspersyfikowanych planów akcji (rys. 6). Kierunkiem działań o najwyższym prioryecie czasowym był plan A(1), polegający na horyzontalnym wierceniu ratowniczym bezpośrednio przez centrum zawału od strony portalu Silkyara. Metodyka zakładała bezwykopowe pchanie stalowych rur osłonowych

o średnicy zewnętrznej 800–900 mm za pomocą techniki pchania hydraulicznego przy użyciu amerykańskiej wiertnicy ślimakowej (auger boring machine) o wysokim momencie obrotowym. Choć faza początkowa charakteryzowała się dużym postępem liniowym, w czternastej dobie operacji na 45 m przewiertu świder maszyny napotkał metaliczną przeszkodę w postaci zgniecionych, stalowych elementów obudowy pierwotnej, co doprowadziło do pęknięcia wału napędowego, zablokowania przewodu rury i trwałego unieruchomienia mechanicznego.

Niepowodzenie planu A(1) spowodowało przejście do planu B(2), przewidującego odwiercenie pionowego otworu ratowniczego o dużej średnicy (ok. 700 mm) ze szczytu masywu górskiego bezpośrednio nad pustką, w której schronili się pracownicy. Realizację tego wariantu powierzono korporacjom, przy czym kluczowe było wykonanie nowej drogi dojazdowej o długości 1,15 km w celu mobilizacji ciężkich, wielkotonażowych platform wiertniczych. Równolegle wdrożono plan C(3), polegający na precyzyjnym mikrotunelowaniu prostym do osi podłużnej głównego tunelu, ukierunkowanego na wykop boczny chodnika ratowniczego omijającego strefę spękań i przemieszczeń strukturalnych.

Kolejną niezależną linię akcji ratowniczej stanowił plan D(4), w ramach którego podjęto aktywne drążenie klasycznego chodnika ratunkowego od przeciwległej strony masywu, to jest od portalu Barkot, z zastosowaniem kontrolowanych metod strzałowych w nienaruszonej strukturze skalnej. Jako ostateczną linię obrony inżyniernej opracowano plan E(5), będący projektem nowego tunelu udostępniającego o całkowitej długości 483 m, który miał stanowić stabilne geometryczne obejście rejonu.

Ostateczny przełom w akcji ratowniczej przyniósł jednak powrót do tradycyjnych technik manualnych, stanowiących modyfikację planu A(1). Po mechanicznym wycięciu zablokowanego świda do wnętrza stalowej rury osłonowej wprowadzono zespół indyjskich ratowników górniczych. Ratownicy, pracując w skrajnie ograniczonej przestrzeni, przy użyciu ręcznych narzędzi pneumatycznych oraz łopat wybrali i przetranspor-



► Rys. 7. Działania ratownicze w rejonie zawalu

► Fig. 7. Rescue operations in the collapse zone

towali 12 m zagęszczonego urobku skalno-błotnego (rys. 7). Faza finałowa akcji ratowniczej została pomyślnie zwieńczona 28 listopada 2023 r., kiedy po osiągnięciu pełnego przebicia na dystansie 59,49 m wyspecjalizowane zespoły ratownicze wprowadziły do wnętrza stalowej kapsuły ochronnej zmodyfikowane nosze ewakuacyjne, bezpiecznie ewakuując 41 uwięzionych pracowników bez żadnych obrażeń fizycznych.

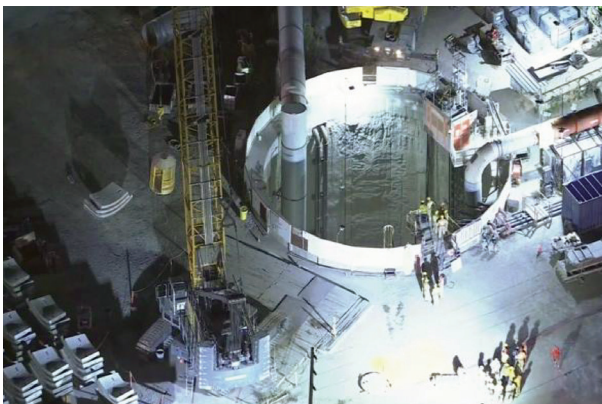
3.5.3. Katastrofa w Los Angeles – zawalenie drążonego tunelu przemysłowego

9 lipca 2025 r. w południowej części Los Angeles, w dzielnicy Wilmington, nastąpiło częściowe zawalenie odcinka tunelu realizowanego w ramach projektu Clearwater (modernizacja systemu odprowadzania ścieków). Zdarzenie miało miejsce na głębokości około 400 stóp (ok. 120 m) i dotyczyło odcinka położonego w przybliżeniu 5–6 mil (ok. 7–10 km) od jednego szybu wejściowego. W momencie awarii w tunelu przebywało 27 pracowników; cztery kolejne osoby weszły później, w sumie zagrożonych było 31 osób. Po zawaleniu pra-

cownicy musieli pokonać rumowisko skalne o wysokości szacowanej na 12–15 stóp (ok. 3,6–4,6 m), aby dotrzeć do bezpieczniejszego odcinka tunelu. Część załogi wykorzystała maszynę TBM jako punkt zborny. Do ewakuacji użyto specjalnie przystosowanego pojazdu tunelowego, który przewiózł ich w kierunku szybu, skąd byli podnoszeni na powierzchnię przy użyciu dźwigu (rys. 8) i kapsuły ratowniczej (rys. 9). Pojazd wykorzystany do ewakuacji w szybie był podobny do PWR (przewoźny wyciąg ratowniczy), podstawowego wyposażenia zawodowego pogotowia specjalistycznego CSRG S.A. W działaniach ratowniczych uczestniczyło ponad 100 funkcjonariuszy Los Angeles Fire Department, w tym zespoły Urban Search and Rescue. Wszyscy pracownicy zostali ostatecznie ewakuowani bez poważnych obrażeń.

3.6. Współczesne katastrofy i zdarzenia wypadkowe podczas drążenia tuneli w Polsce

Analiza krajowych katastrof oraz zdarzeń wypadkowych pokazuje, że dynamiczny rozwój infrastruktury tunelowej w Polsce, obejmujący górskie trasy drogowe,



► Rys. 8. Dźwig użyty podczas akcji ratowniczej

► Fig. 8. Crane deployed during the rescue operation



► Rys. 9. Ewakuacja pracowników z wykorzystaniem kapsuły transportowej podwieszonej do dźwigu

► Fig. 9. Evacuation of workers using a crane hoisted rescue cage

kolejowe i skomplikowane systemy komunikacji miejskiej, niesie ze sobą pełen wachlarz ryzyk geotechnicznych i realizacyjnych w zakresie ratownictwa górniczego.

Przedstawione przypadki z Węgierskiej Górki, Warszawy oraz Łodzi pokazują, że zagrożenia różnią się w zależności od lokalizacji i wybranej technologii. Każde z tych zdarzeń (od nagłych zawałów skał po katastrofy budowlane kamienic) stanowi ważną lekcję dla inżynierów i służb ratowniczych, wymuszając stałe doskonalenie systemów monitoringu oraz procedur ewakuacyjnych.

3.6.1. Katastrofa podczas drążenia tunelu TD-2.1

25 maja 2021 roku podczas realizacji prac drążeniowych metodą NATM w tunelu TD-2.1 (rys. 10), stanowiącym element obejścia Węgierskiej Górki na trasie S1, doszło do gwałtownego pogorszenia stabilności górotworu. Na odcinku ok. 10 m nastąpił zawał skał stropowych, poprzedzony wyraźnymi deformacjami obudowy wstępnej. Dzięki ciągłemu monitorowaniu parametrów geotechnicznych i właściwej interpretacji sygnałów ostrzegawczych z aparatury pomiarowej załoga została ewakuowana jeszcze przed wystąpieniem obsunięcia mas skalnych.

Działania po wystąpieniu zawału skupiły się na natychmiastowej stabilizacji sąsiednich sekcji tunelu, aby zapobiec dalszej degradacji struktury. Wdrożono specjalistyczne procedury wzmacniające, obejmujące wykonanie iniekcji cementowych i montaż dodatkowych systemów kotwienia, co pozwoliło na bezpieczne zabezpieczenie przodka. Operacja ta, prowadzona pod ścisłym nadzorem Okręgowego Urzędu Górniczego w Krakowie, wymagała pełnej weryfikacji założeń projektowych oraz dostosowania technologii drążenia do skrajnie trudnych warunków geologicznych panujących w tym rejonie. Incydent ten stanowi istotne studium przypadku w zakresie zarządzania ryzykiem w budownictwie podziemnym, podkreślając rolę monitoringu w czasie rzeczywistym jako nadrzędnego narzędzia zapewniającego bezpieczeństwo pracy górniczej.

3.6.2. Katastrofa podczas drążenia tunelu metra w Warszawie

Budowa centralnego odcinka II linii metra w Warszawie realizowana była przy użyciu zaawansowanej technologii zmechanizowanych tarcz drążących typu EPB (Earth Pressure Balance) o średnicy 6,27 m. Metoda ta, oparta na równoważeniu ciśnienia gruntu w czole tarczy, została dobrana ze względu na skomplikowane warunki hydrogeologiczne doliny Wisły. W nocy z 13 na 14 sierpnia 2012 roku, podczas prac pomocniczych polegających na drążeniu przejścia podziemnego pod tunelem Wisłostrady w obrębie stacji C13 (Centrum Nauki Kopernik), doszło do nagłego przebicia hydraulicznego (rys. 11 i 12). Zjawisko to nastąpiło w warstwie nawodnionych piasków rzecznych, co doprowadziło do gwałtownego wdarcia się kurczawki do wnętrza wykopu stacyjnego.

W wyniku awarii w ciągu zaledwie kilku godzin do wnętrza stacji przedostało się około 6500 m³ urobku wodno-gruntowego, co spowodowało powstanie ogromnej kawerny pod konstrukcją tunelu Wisłostrady



► Rys. 10. Prace drążeniowe prowadzone w tunelu z wykorzystaniem koparki gąsienicowej

► Fig. 10. Excavation works inside the tunnel using a crawler excavator

oraz przyczółkiem Mostu Świętokrzyskiego, usunięcie skutków wymagało m.in. wypełnienia kawerny betonem około 5000 m³ oraz iniekcji niskociśnieniowych. Ciśnienie hydrodynamiczne wody gruntowej, znajdującej się na tym obszarze na poziomie ok. 8–10 m powyżej dna wykopu, uniemożliwiło natychmiastowe zatamowanie wycieku metodami konwencjonalnymi. Skutkiem tego procesu było osiadanie terenu i realne zagrożenie statyki obiektów naziemnych, co wymusiło zamknięcie arterii komunikacyjnej miasta na 10 miesięcy. Usuwanie skutków katastrofy wymagało zastosowania środków inżynierskich, w tym wpompowania w powstałą pustkę blisko 5000 m³ mieszanek betonowych oraz niskociśnieniowych iniekcji uszczelniających.

3.6.3. Katastrofa podczas drążenia tunelu kolejowego średnicowego w Łodzi

Podczas realizacji strategicznego projektu kolejowego w Łodzi, mającego na celu połączenie stacji Łódź Fabryczna z zachodnią częścią miasta, we wrześniu 2024 roku doszło do gwałtownego naruszenia stateczności konstrukcji kamienicy przy Alei 1 Maja 23. Zdarzenie miało miejsce w trakcie przejścia pod budynkiem wielkośrednicowej tarczy TBM o nazwie Katarzyna, posiadającej głowicę skrawającą o średnicy zewnętrznej 13,04 m. Maszyna ta, przeznaczona do drążenia dwutorowego tunelu o długości ok. 3 km, pracowała w specyficznym, łódzkim podłożu zdominowanym przez nawodnione piaski, żwiry oraz gliny zwałowe, co przy tak dużej średnicy tarczy generowało ekstremalne wyzwania geotechniczne. Drążenie spowodowało przemieszczenia gruntu, które doprowadziły do utraty nośności fundamentów oficyny budynku, a w konsekwencji do całkowitego zaważenia się ściany szczytowej oraz stropów na wszystkich kondygnacjach.

Z technicznego punktu widzenia proces drążenia tarczą typu EPB (Earth Pressure Balance) o masie ponad 2200 t wymagał precyzyjnego równoważenia parcia gruntu w komorze urobkowej, jednak stan techniczny XIX-wiecznej zabudowy oraz brak pełnej ciągłości konstrukcyjnej fundamentów kamienicy uniemożliwiły bezpieczne przejęcie naprężeń wywołanych przemieszczeniem mas ziemnych. Skuteczna ewakuacja mieszkańców, przeprowadzona prewencyjnie przed wej-



► Rys. 11. Początkowa faza wypływu gruntu po przebicciu stropu wyrobiska

► Fig. 11. Initial phase of soil outflow following the breakthrough of the excavation roof



► Rys. 12. Widok rejonu czoła przodka po wystąpieniu przebiccia hydraulicznego

► Fig. 12. View of the tunnel face area after a hydraulic blowout

ściami tarczy w strefę kolizyjną, pozwoliła uniknąć ofiar w ludziach, mimo że dynamika zniszczenia obiektu była nagle i nieodwracalna. Incydent ten stał się przedmiotem szerokich analiz inżynierskich dotyczących bezpieczeństwa drażenia tuneli wielkośrednicowych w gęstej zabudowie miejskiej o niskiej odporności strukturalnej.

4. Zaplecze techniczne ratownictwa górniczego wykorzystywane podczas drażenia tuneli

Skuteczne prowadzenie akcji ratowniczych w specyficznym środowisku drażonych tuneli wymaga zaangażowania sił i środków wykraczających poza standardowe wyposażenie służb. Kluczową rolę w tym systemie odgrywa CSRG S.A. w Bytomiu, dysponująca unikatowym w skali kraju zapleczem technicznym oraz kadrą wyszkoloną do pracy w ekstremalnych warunkach podziemnych. Dzięki funkcjonowaniu m.in. wyspecjalizowanych, zawodowych pogotowi specjalistycznych CSRG S.A. zapewnia kompleksowe wsparcie w zadaniach ratowniczych i profilaktycznych: od precyzyjnego określenia składu i inertyzacji powietrza kopalnianego, przez zaawansowane techniki wykonywania chodników ratowniczych w zawalisku, aż po specjalistyczne działania wysokościowe i wodne.



► Rys. 13. Zawalona ściana szczytowa kamienicy przy Al. 1 Maja 23 w Łodzi; widoczne uszkodzenia konstrukcji powstałe w wyniku przemieszczeń gruntu podczas przejścia tarczy TBM Katarzyna

► Fig. 13. Collapsed gable wall of the tenement at 1 Maja Avenue 23 in Łódź; structural damage caused by ground movements during the passage of the TBM Katarzyna

Na wyposażeniu jednostki znajdują się systemy ochrony układu oddechowego o wydłużonym czasie działania (aparaty regeneracyjne o obiegu zamkniętym) niezbędne przy pracy w tunelach, gdzie atmosfera niezdarna do oddychania może występować na dużych odległościach. Należy podkreślić, że aparaty powietrzne jedno- i dwubutlowe ze względu na ograniczony czas działania mogą nie być wystarczającym zabezpieczeniem do długotrwałych akcji ratowniczych prowadzonych w rozległych tunelach. Kompetencje i nowoczesne wyposażenie specjalistycznych służb ratowniczych CSRG S.A. stanowią fundament efektywności oraz bezpieczeństwa realizacji najbardziej wymagających akcji ratowniczych.

4.6. Zawodowe Pogotowia Specjalistyczne Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu

Pogotowia specjalistyczne biorą udział w akcjach ratowniczych wymagających użycia specjalistycznego sprzętu. Zgodnie z przepisami rozporządzenia w sprawie ratownictwa górniczego CSRG S.A. dysponuje sześcioma pogotowiami specjalistycznymi:

- Pogotowie Specjalistyczne Pomiarowe,
- Pogotowie Specjalistyczne Górniczo-Techniczne,
- Pogotowie Specjalistyczne Przewoźnych Wyciągów Ratowniczych,
 - specjalistyczne zastępy/grupy ratownicze do prac z użyciem technik alpinistycznych,
- Pogotowie Specjalistyczne Przeciwpowodziowe,
- Pogotowie Specjalistyczne do Inertyzacji Powietrza Kopalnianego,
- Pogotowie Specjalistyczne Wodne,
 - specjalistyczne zastępy/grupy ratownicze do wykonywania prac z zastosowaniem technik nurkowych.

4.6.1. Pogotowie Specjalistyczne Pomiarowe

Pogotowie Specjalistyczne Pomiarowe wyposażone jest w nowoczesny sprzęt pomiarowy, taki jak chromatografy i przyrządy podręczne, wykorzystywany podczas prac związanych z monitorowaniem i likwidacją zagrożenia pożarowego, pomiarów powietrza i gazów poza-

rowych oraz oceny stopnia wybuchowości mieszanin gazowych podczas akcji ratowniczych w podziemnych wyrobiskach.

Zakres działania Pogotowia Specjalistycznego Pomiarowego:

- wykonywanie pomiarów powietrza i gazów pożarowych oraz przekazywanie ich wyników do kierownictwa akcji;
- wykonywanie innych specjalistycznych pomiarów w podziemnych wyrobiskach górniczych lub na powierzchni kopalni, kontrola i konserwacja aparatury pomiarowej.

Wyposażenie Pogotowia Specjalistycznego Pomiarowego stanowią:

- wóz bojowy Pogotowia Specjalistycznego Pomiarowego;
- zestaw chromatografu przystosowany do pracy pod ziemią;
- zestawy urządzeń do zdalnego pobierania prób do analizy chemicznej powietrza i gazów pożarowych (pompy akumulatorowe);
- przenośny zestaw komputerowy do oceny zagrożenia wybuchem mieszanin gazowych;
- zestawy urządzeń do zdalnego pomiaru temperatury gazów pożarowych w wyrobiskach górniczych;
- indywidualne przyrządy pomiarowe do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza kopalnianego oraz zawartości CH_4 , CO_2 , CO i O_2 ;
- przyrząd do pomiaru ciśnienia bezwzględnego powietrza pod ziemią oraz do pomiaru różnicy ciśnień;
- linia chromatograficzna służąca do pobierania prób powietrza kopalnianego celem analizy mieszaniny gazowej w wyrobiskach górniczych;
- urządzenia (transformatory) służące do zasilania stanowiska pomiarowego w trakcie prowadzenia akcji ratowniczych i prac profilaktycznych;
- autonomiczne urządzenia zasilania rezerwowego (zasilacze akumulatorowe).

4.6.2. Pogotowie Specjalistyczne Górniczo-Techniczne

Pogotowie Specjalistyczne Górniczo-Techniczne przewidziane jest do specjalistycznych prac podczas akcji po zawałach i tąpnięciach. Ratownicy tego pogotowia docierają do uwieczonych poszkodowanych, wykonując również chodniki ratownicze czy specjalne otwory ewakuacyjne. Pogotowie Specjalistyczne Górniczo-Techniczne prowadzi działalność interwencyjną, udzielając pomocy kopalniom i górnikom w sytuacjach zagrożenia zawałami skał oraz tąpnięciami. Zajmuje się usuwaniem skutków tych zdarzeń i przywracaniem bezpiecznych warunków pracy w wyrobiskach górniczych.

Wyposażenie Pogotowia Specjalistycznego Górniczo-Technicznego stanowią m.in.:

- podnośniki i rozpieracze hydrauliczne wykorzystywane podczas działań ratowniczych, w których praca wykonywana jest poprzez: unoszenie, rozpieranie, podpieranie oraz ciągnięcie;
- nożyce hydrauliczne i nożyco-rozpieracze, czyli hydrauliczne narzędzia ratownicze przeznaczone do wykonywania wszelkich czynności, podczas których realizowane jest cięcie, odcinanie czy nacinanie konstrukcji i profili metalowych;

- przecinak do lin i kabli;
- kliny hydrauliczne stosowane najczęściej podczas rozpierania (rozsuwania) elementów konstrukcyjnych o znacznej masie, gdy przestrzeń między nimi jest zbyt mała, by osadzić inne narzędzie;
- przecinarki tarczowe do wykonywania bardzo głębokich cięć;
- kliny hydrauliczne do bezударowego i bezdetonacyjnego rozrywania skał tam, gdzie nie można wykorzystać materiałów wybuchowych lub urządzeń udarowych;
- młoty udarowe i wiertarki z napędem elektrycznym, hydraulicznym oraz powietrznym;
- stojaki hydrauliczne stosowane zarówno jako bezpośrednia, jak i pośrednia podpora stropu, a także rumowiska skalnego, gdy wykonywany jest np. chodnik ratowniczy;
- przenośniki zgrzebłowe ratownicze stosowane do transportowania brył skalnych z rumowiska wyrobiska górniczego podczas drążenia tunelu ratowniczego;
- systemy przeznaczone do lokacji górników zasypanych lub odciętych przez zawał w wyrobiskach górniczych;
- agregaty hydrauliczne zasilające narzędzia hydrauliczne ratownicze;
- system inspekcyjny do penetracji otworów wiertniczych i rurociągów z możliwością skontrolowania oraz zapisu cyfrowego z kontroli otworu;
- górnicze wiertnice dołowe do wiercenia otworów pełnym przekrojem lub rdzeniowo w skałach o różnej twardości;
- systemy plazmowe do cięcia metalu.

4.6.3. Pogotowie Specjalistyczne Przewoźnych Wyciągów Ratowniczych

Do zadań Pogotowia Specjalistycznego Przewoźnych Wyciągów Ratowniczych należy ewakuacja pracowników lub wykonywanie innych prac ratowniczych, awaryjno-rewizyjnych lub kontrolnych w szybach, otworach wiertniczych wielkośrednicowych za pomocą urządzeń mechanicznych oraz technik alpinistycznych.

Wyposażenie pogotowia specjalistycznego stanowią:

- dwa przewoźne wyciągi ratownicze (awaryjno-rewizyjne);
- kabiny ratownicze o średnicach: 550 mm, 630 mm, 800 mm, 1000 mm, 1200 mm;
- sprzęt pomocniczy: urządzenie do monitoringu szybów kopalnianych, wiertnica rdzeniowa akumulatorowa.

W strukturach zawodowego Pogotowia Specjalistycznego Przewoźnych Wyciągów Ratowniczych funkcjonują specjalistyczne zastępy/grupy ratownicze do prac z użyciem technik alpinistycznych. Są one stale utrzymywane w gotowości akcyjnej do działań na terenie zakładów górniczych, ze szczególnym uwzględnieniem akcji ratowniczych związanych z:

- ratowaniem życia lub zdrowia ludzi,
- ratowaniem mienia.

Miejscem działania specjalistycznych zastępów/grup ratowniczych do prac z użyciem technik alpinistycznych są przede wszystkim szyby, szybiki, zbiorniki, otwory

wielkośrednicowe, wyrobiska o dużym nachyleniu oraz inne obiekty powierzchniowe, gdzie występuje ryzyko upadku z wysokości.

4.6.4. Pogotowie Specjalistyczne Przeciwpowozarowe

Pogotowie Specjalistyczne Przeciwpowozarowe przeznaczone jest do likwidacji zagrozenia powozarowego w kopalniach w czasie prowadzenia akcji ratowniczych i prac profilaktycznych, a w szczegolnosci do:

- aktywnego zwalczania powozarow przy uzyciu sprzetu do podawania wody i pian gasniczych;
- pasywnego zwalczania powozarow przy wykorzystaniu specjalistycznego sprzetu do izolacji ognisk powozarowych, w tym nadzoru nad budowa tam izolacyjnych o konstrukcji przeciwwybuchowej;
- profilaktyki powozarowej z uzyciem sprzetu i materialow do wykonywania tam izolacyjnych, uszczelniania gorotworu.

Wypozazenie Pogotowia Specjalistycznego Przeciwpowozarowego stanowia:

- przenosne centrum pianowe,
- generator piany,
- wytwornica piany,
- przenosny system piany sprzonej,
- systemy gasniczo-tnace,
- agregaty pompowe,
- torkretnica sucha,
- maszyna do natrysku betonu (torkretnica).

4.6.5. Pogotowie Specjalistyczne do Inertyzacji Powietrza Kopalnianego

Pogotowie Specjalistyczne do Inertyzacji Powietrza Kopalnianego wykorzystuje gazy inertne (azot lub dwutlenek wegla) do likwidacji zagrozen powozarowych. Azot dzieki nowoczesnym urzadzeniom pozyskiwany jest bezposrednio z powietrza atmosferycznego lub jest odparowywany ze stanu cieklego. Podczas akcji ratowniczych gazy wtlaczane sa w miejsce zagrozenia i wypieraja tlen. Dzieki temu minimalizowane jest zagrozenie powozarowe i wybuchowe bezposrednio w wyrobisku.

Inertyzacja to czesciowe lub calkowite zastepowanie tlenu lub atmosfery palnej przez obojetny gaz. Dzialanie gazow obojetnych polega na wypieraniu przez nie tlenu i innych gazow palnych z atmosfery, wskutek czego maleje stezenie tych gazow, a zwlaszcza tlenu. Jest to bardzo skuteczna metoda zapobiegania wybuchom, powozarom. Inertyzacja jest stosowana, gdy ryzyko wybuchowe lub powozarowe nie moze byc wyeliminowane przez inne srodki. W gornictwie polskim znane i stosowane sa nastepujace metody inertyzacji atmosfery kopalnianej:

- inertyzacja dwutlenkiem wegla,
- inertyzacja azotem.

4.6.6. Pogotowie Specjalistyczne Wodne

Pogotowie Specjalistyczne Wodne zostalo powolane do usuwania skutkow wdarcia sie wody lub niekontrolowanego doplywu do wyrobisk gorniczych wody lub wody z luznym materialem. Jego zadaniem jest montaz i obsluga sprzetu pogotowia w czasie akcji ratowniczych i prac profilaktycznych.

Wypozazenie pogotowia stanowia:

- pompy o wysokosci podnoszenia do 700 m i wydajnosci do 1000 m³/h;
- pompy szlamowe do pompowania cieczy o gestosci do 1200 kg/m³, wysokosci podnoszenia do 55 m i wydajnosci do 300 m³/h;
- pompy do pompowania szlamu o napedzie pneumatycznym o wysokosci podnoszenia do 70 m i wydajnosci do 122 m³/h;
- agregaty pompowe spalinowe.

W sklad Pogotowia Specjalistycznego Wodnego wchodzi specjalistyczne zastepy/grupy ratownicze do wykonywania prac z zastosowaniem technik nurkowych. Sa one utrzymywane w gotowosci akcyjnej do dzialan w przypadku powstania zagrozenia lub w ramach zaplanowanych prac w miejscach wystepowania zagrozenia wodnego, ze szczegolnym uwzglednieniem akcji zwiazanych z ratowaniem zycia, zdrowia ludzi oraz mienia.

5. Podstawy prawne funkcjonowania ratownictwa gorniczego i prowadzenia akcji

Fundamentem bezpieczenstwa podczas realizacji zabezpieczenia drazenia tuneli w Polsce jest rygorystyczny system prawny, ktory integruje dzialania przedsiebiorcow budowlanych z profesjonalnymi strukturami ratownictwa gorniczego. Regulacje na czelo z ustawa – Prawo geologiczne i gornicze z dnia 9 czerwca 2011 r. (ustawa – Prawo geologiczne i gornicze, 2011) oraz rozporzadzeniem Ministra Energii w sprawie ratownictwa gorniczego (rozporzadzenie Ministra Energii dotyczace ratownictwa gorniczego, 2017) od roku 2025 definiuja nie tylko oboviazki w zakresie natychmiastowego niesienia pomocy, ale takze wymuszaja prowadzenie ciaglej profilaktyki zagrozen w tunelach. System ten opiera sie na scislej hierarchii kierowania akcja ratownicza oraz na oboviazkowej wspolpracy z podmiotami zawodowymi, takimi jak CSRG S.A. w Bytomiu.

W praktyce oznacza to, ze przedsiebiorcy drazacy tunele w Polsce, nie posiadajac wlasnych sluzb ratownictwa gorniczego, sa zobowiazani na mocy umowy i za uprzednia zgoda wlasciwego organu nadzoru gorniczego powierzyc w calosci obowiazek zapewnienia ratownictwa gorniczego podmiotowi zawodowo trudniacemu sie ratownictwem gornicznym.

6. Przygotowanie zakladu gorniczego do akcji ratowniczych

Skutecznosć akcji ratowniczej w warunkach podziemnych zalezy nie tylko od profesjonalizmu zewnetrznych sluzb ratowniczych, ale przede wszystkim od stopnia przygotowania samego zakladu. Proces ten obejmuje wielopoziomowe dzialania: od systematycznego szkolenia zalogi w zakresie samoratownictwa, poprzez wyznaczenie i oznakowanie bezpiecznych drog ucieczkowych, az po zapewnienie odpowiedniej infrastruktury. Istotnym elementem jest biezaca aktualizacja oraz realizacja planu ratownictwa, gwarantujaca poprawna reakcje w sytuacji bezposredniego zagrozenia zycia, w tym sprawną obsluge aparatow uciezkowych oraz korzystanie z komor przetrwania. Glownymi czynni-

kami wpływającymi na przygotowanie zakładu do akcji ratowniczej są:

- Przygotowanie załogi w zakresie nabycia umiejętności samoratownia i ratowania.
- Przygotowanie zakładu do prowadzenia akcji w zakresie:
 - kierowania akcją ratowniczą (przeszkolona kadra);
- Znajomość zasad postępowania w zakresie organizacji akcji ratowniczej przez służby zakładu.

Każda osoba z kierownictwa, dozoru ruchu i każdy pracownik musi znać zapisy planu ratownictwa, w szczególności dotyczące:

- dróg ewakuacyjnych (wycofania);
- lokalizacji komór przetrwania i stacji aparatów ucieczkowych oraz zasad wymiany aparatów ucieczkowych.

7. Wnioski

Analiza współczesnych metod drążenia tuneli w zestawieniu z doświadczeniami ratownictwa górniczego prowadzi do wniosku, że wybór konkretnej technologii, takiej jak NATM czy TBM, określa nie tylko tempo prac, lecz przede wszystkim specyficzny profil zagrożeń występujących podczas drążenia. Doświadczenia z realizacji tuneli w Polsce i na świecie dowodzą, że proces ich drążenia wymaga nieprzerwanej gotowości służb

ratowniczych, a tym samym uzasadnia w tym kontekście konieczność utrzymywania ratownictwa górniczego.

Rozwój infrastruktury tunelowej w Polsce wymusza stałą modernizację zaplecza technicznego ratownictwa, szczególnie w zakresie sprzętu przeznaczonego do pracy w długich wyrobiskach o ograniczonej przestrzeni i utrudnionej wentylacji. Specyfika ewentualnych działań ratowniczych przy technologii TBM oraz w metodzie NATM wymaga stosowania aparatów oddechowych o długim czasie działania oraz systemów łączności odpornych na zakłócenia. Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu ma strategiczne znaczenie dla bezpieczeństwa infrastruktury podziemnej. Jej wyspecjalizowane pogotowia, wyszkolony personel i unikatowe zaplecze techniczne umożliwiają prowadzenie operacji wykraczających poza możliwości standardowych służb.

Dostęp do takiego zaplecza ratowniczego zmniejsza ryzyko długotrwałych skutków awarii zarówno w wymiarze ludzkim, środowiskowym, jak i ekonomicznym oraz zwiększa zaufanie inwestorów i społeczeństwa do realizacji projektów podziemnych o podwyższonym ryzyku. Utrzymanie i rozwój CSRG S.A. poprzez modernizację specjalistycznego sprzętu, formalizację roli podmiotu zawodowo trudniącego się ratownictwem górnictwem w planowaniu i ćwiczeniach oraz stałe doskonalenie kompetencji personelu jest niezbędne do efektywnego reagowania w sytuacjach kryzysowych podczas drążenia tuneli.

Tunnel support during excavation: Analysis of incidents and technical resources for mine rescue

Abstract: The article analyses tunnel excavation methods (NATM/NTM, TBM), identifies typical hazards, and classifies hazardous incidents according to the technology use and the nature of the phenomena involved (geological, technological and operational). The main causes of failures are discussed, including adverse geological conditions, design and construction errors, machinery failures and external factors. The paper presents examples of recent hazardous incidents abroad (including in India and the United States) and in Poland (Warsaw, Węgierska Górka and Łódź), drawing conclusions regarding the causes and the effectiveness of rescue operations. Particular emphasis is placed on the technical resources available to mine rescue services, including the organisational structure and equipment of the Central Mines Rescue Station S.A. (specialist emergency services, measuring instruments, interring systems, pumps, equipment for tunneling rescue headings and long-duration breathing apparatus), as well as on procedures for organising and conducting rescue operations in accordance with applicable legislation. The conclusions emphasise the need to integrate rescue services and continuously improve technical facilities and training in order to minimise risk, and reduce response times, carry out rescue operations effectively and mitigate the consequences of disasters in critical situations.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 19 marca 2017 r. w sprawie ratownictwa górniczego (Dz.U. z 2022 r. poz. 1418, z późn. zm. 1343).
2. SISKOM (2012). Raport techniczny dotyczący awarii na stacji C13 II linii metra – przebicie hydrauliczne, 13–14 sierpnia 2012 r. Materiały wewnętrzne SISKOM, <https://ssc.siskom.waw.pl> (data dostępu: 1.01.2026).
3. Tajduś, A., Tokarski, S. (2024a). Challenges facing the Polish energy sector in 2024 and upcoming years. *Archives of Mining Sciences*, vol. 69, no. 1, s. 127–139.
4. Tajduś, A. (2024b). Drążenie tuneli kolejowych we fliszu karpackim. W: *XLV Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii*: Stryszawa, s. 72.
5. Tajduś, A. (n.d.). Wybrane rozdziały i artykuły nt. NATM/NTM i modelowania numerycznego w geomechanice. Materiały konferencyjne i rozdziały dostępne w zasobach AGH i wydawnictwach branżowych; repozytorium AGH: <https://repo.agh.edu.pl/500> (data dostępu: 16.07.2026).
6. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2026 r. poz. 69).