

# Od budownictwa górniczego do budownictwa podziemnego w stulecie AGH

## From mining construction to underground construction in the century of AGH UST



Prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś \*)



Prof. dr hab. inż. Marek Ciał \*)



Dr inż. Agnieszka Stopkowicz \*)

**Treść:** W artykule przedstawiono historię Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki (KGBiG) na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Omówiono zmiany organizacyjne w ramach Katedry w odniesieniu do rozwoju budownictwa podziemnego i tunelowego. Zaprezentowano dotychczasowe najważniejsze kierunki badawcze realizowane przez pracowników KGBiG.

**Abstract:** This paper shows the history of Department of Geomechanics, Civil Engineering & Geotechnics (KGBiG) in the structure of the Faculty of Mining & Geoengineering of AGH University of Science & Technology the name of Stanisław Staszic. The organizational changes in the department structure were presented in the light of underground and mining construction development. The most important research and development areas of department scientific workers were also discussed.

### Słowa kluczowe:

*budownictwo podziemne, budownictwo górnicze, tunele*

### Key words:

*underground construction, mining construction, tunnels*

## 1. Wproeadzenie

Historii rozwoju budownictwa podziemnego nie da się przedstawić bez pokazania dorobku i historii Katedry obecnie występującej pod nazwą Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki (KGBiG) na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W artykule przedstawiono zarys historii Katedry, w tym jej zmiany będące odpowiedzią na zapotrzebowanie rynkowe. Przybliżono sylwetki dwóch wybitnych pracowników, którzy wnieśli szczególnie duży wkład w rozwój budownictwa podziemnego. Przedstawiono także wybrane realizacje, w których powstaniu i realizacji udział wzięli pracownicy KGBiG. Wszystko to, stworzyło dzisiejszą Katedrę i jej tradycje kultywowane przez jej obecnych pracowników.

## 2. Historia rozwoju Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii

Historia Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii jest

tak długa jak historia Uczelni. Już w 1919 roku na Wydziale Górniczym powołano Zakład Mechaniki Teoretycznej i Wytrzymałości Materiałów. Zakład ten mieścił się do 1930 roku w pomieszczeniach przy ulicy Loretańskiej 18, a następnie w wypożyczonym budynku przy ulicy Krzemionki 11 w Podgórzu, w pobliżu obecnego ośrodka Telewizji Kraków. W roku 1922 powołano na Wydziale Górniczym Katedrę Mechaniki Ogólnej i Technicznej. W początkowym okresie (tuż po I wojnie światowej) obowiązki kierownika Zakładu i Katedry pełnił prof. Jan Stock (fizyk, specjalizujący się także w zagadnieniach z zakresu hydromechaniki), który był równocześnie kierownikiem Katedry Fizyki, a następnie prof. Antoni Hoborski, kierownik Katedry Matematyki i pierwszy Rektor Akademii w latach 1920-1922. Znaczny rozwój działalności Katedry i Zakładu rozpoczął się z chwilą objęcia stanowiska kierownika przez specjalistę mechaniki teoretycznej i wytrzymałości materiałów prof. Władysława Taklińskiego (Rektora Akademii w latach 1933-1939), który z nastaniem okupacji niemieckiej został aresztowany i zamordowany w hitlerowskim obozie koncentracyjnym w Sachsenhausen. Po II wojnie światowej Katedra została podzielona na dwa zakłady:

- Zakład Mechaniki Technicznej,
- Zakład Wytrzymałości Materiałów.

\*) AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, WGiG w Krakowie

Kierownikiem Katedry i Zakładu Mechaniki Technicznej został prof. Antoni Sałustowicz, wybitny uczony, członek Polskiej Akademii Nauk. Ukształtował on główne kierunki działalności dydaktycznej w zakresie mechaniki, wytrzymałości materiałów, mechaniki skał i gruntów (ogólnie mechaniki górotworu) w Katedrze na Wydziale Górniczym i kilku innych wydziałach AGH oraz działalności naukowo-badawczej w dziedzinie szeroko rozumianej mechaniki górotworu.

Wzrastające potrzeby związane z budową nowych kopalń i restrukturyzacją istniejących spowodowały stopniową zmianę profilu działalności Katedry w kierunku problemów geomechanicznych związanych z górnictwem. Zmieniała się nazwa jednostki: od 1949 roku - Katedra i Zakład Mechaniki Technicznej, a od 1952 roku - Katedra Mechaniki Górniczej.

Po śmierci prof. Sałustowicza w 1967 roku, kierownikiem Katedry został prof. Henryk Filcek (rektor Akademii w latach 1974-1979). W 1969 roku Katedra została przekształcona w Instytut Mechaniki Górniczej, który w 1978 roku zmienił nazwę na Instytut Geomechaniki Górniczej. W latach 1982-1985 kierownikiem Katedry był prof. Zdzisław Kłeczek.

W 1993 roku, w ramach reorganizacji Uczelni, Instytut został przekształcony w Katedrę Geomechaniki, a następnie, w 1994 roku, w Katedrę Geomechaniki Górniczej i Geotechniki. Od tego czasu oprócz tradycyjnej działalności na kierunku Górnictwo i Geologia, Katedra rozpoczęła intensywną działalność na kierunku Budownictwo. Wprowadzono tam specjalność kształcenia na studiach dziennych o nazwie „Geotechnika i budownictwo specjalne”.

W 2000 roku do Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki włączono Pracownię Budownictwa Podziemnego będącą częścią Zakładu Projektowania, Budownictwa, Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie. Pracownia ta głównie zajmowała się problemami głębinienia szybów, obudową górnicy i rewaloryzacją architektonicznych obiektów zażytkowych. Istotne rozszerzenie działalności dydaktycznej i naukowej spowodowały, że w 2000 roku Katedra przyjęła nazwę: Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, a jej kierownikiem został prof. Jan Wałaszczyk. W 2008 roku kierownictwo Katedry objął prof. Tadeusz Majcherczyk. Sprawował on funkcję kierownika Katedry do 2012 roku. W 2012 roku Kierownikiem Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki został prof. Antoni Tajduś (rektor AGH w latach 2005-2012).

### 3. Wkład Katedry GBiG w rozwój budownictwa podziemnego

Od początku istnienia Katedry (od 1919 r.), z różnym natężeniem w Katedrze rozwijana była nauka zwana geomechaniką, pod której nazwą rozumie się łącznie mechanikę skał i mechanikę gruntów. Znaczny rozwój geomechaniki nastąpił od 1949 r., czyli od momentu w którym kierownikiem Katedry został prof. Antoni Sałustowicz. Coraz lepsza znajomość geomechaniki pozwoliła wkrótce znacznie rozwinąć problematykę związaną z budownictwem górnicy.

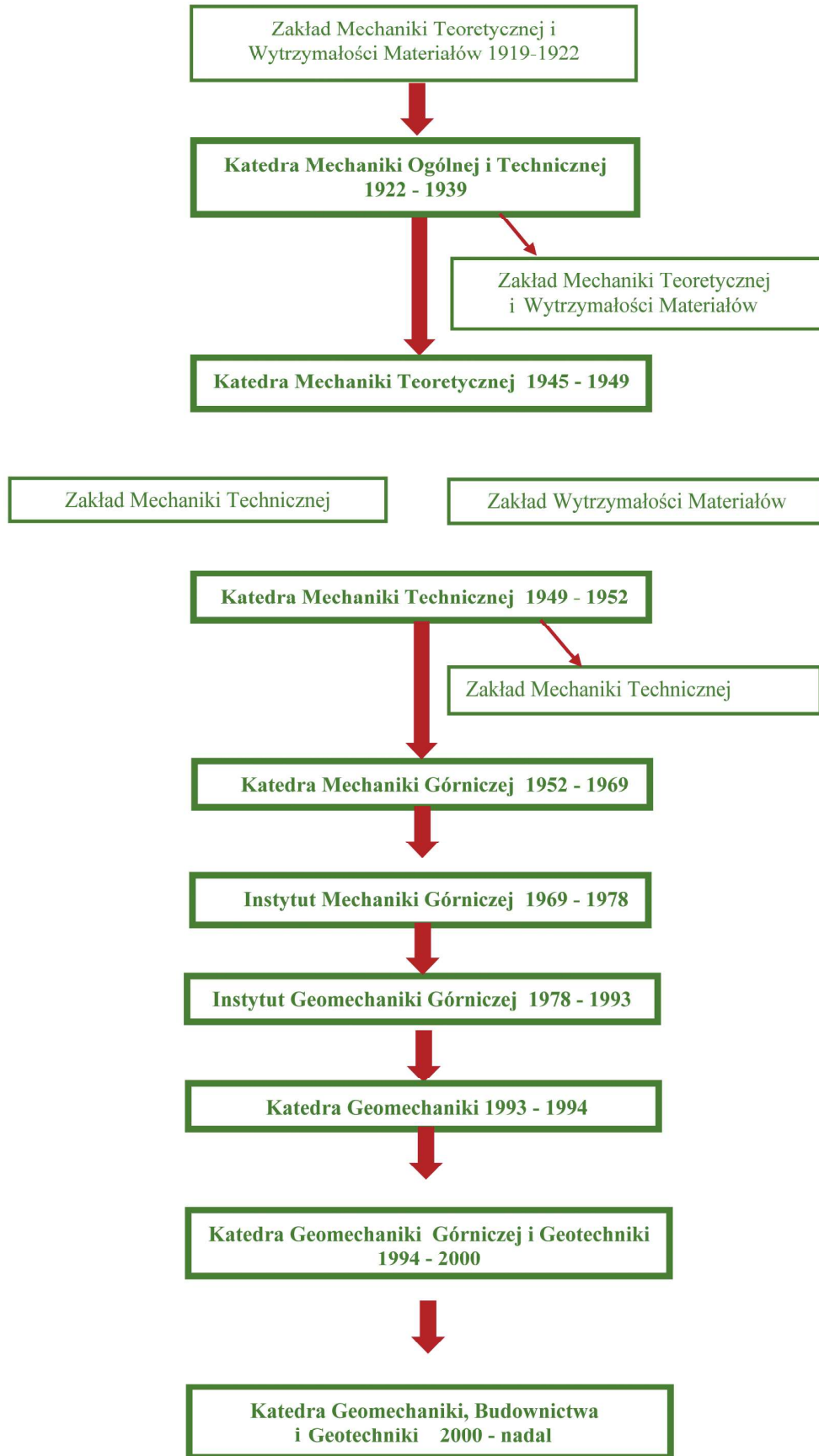
Planowany istotny wzrost wydobywania węgla, rozpoczęcie wydobywania rud miedzi, cynku, ołowiu spowodowały konieczność budowy nowych kopalń, poziomów, różnego rodzaju wyrobisk podziemnych (szybów, chodników, przekopów, sztolni, komór itp.), a to z kolei wpłynęło na burzliwy rozwój nauki związanej z budownictwem górnicy na AGH. Ten rozwój w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych był tak znaczący, że mówiło się o szkole mechaniki górotworu i budownictwa górnicy na AGH.

Do rozwoju wiedzy o budownictwie górnicy ogromny wkład wnieśli tacy wybitni naukowcy i przyjaciele młodzieży

studenckiej jak: Antoni Sałustowicz, Kazimierz Kasiński, Feliks Zalewski, Jan Walewski, Zbigniew Strzelecki i Henryk Filcek. Oto kilka zdań o dwóch z nich, zdaniem Autorów niniejszej publikacji, najwybitniejszych.

**Prof. Antoni Sałustowicz** w 1918 rozpoczął studia na matematyce Uniwersytetu Jagiellońskiego, a następnie w 1919 r. studia na Wydziale Górniczym Akademii Górniczej (jego legitymacja studencka nosiła nr 20). Ze względów finansowych w 1923 przerwał studia i rozpoczął pracę w kopalni „Zbyszek” w Trzebinii, gdzie przeszedł wszystkie stanowiska od praktykanta do kierownika. Studia inżynierskie ukończył z wyróżnieniem w 1930 (systemem zaocznym). Od 1942 r. do momentu wyzwolenia w 1945 r. pracował w kopalni „Artur” w Sierszy. W styczniu 1945 powrócił na stanowisko kierownika kopalni „Zbyszek”, pomagając ją uruchomić po zniszczeniach wojennych, a w kwietniu 1945 przeniósł się do Krakowa rozpoczynając pracę jako adiunkt i wykładowca mechaniki na Wydziale Górniczym Akademii Górniczej. W lipcu obronił pracę doktorską pt. „Ciśnienie górotworu na obudowę tuneli i wyrobisk górnicy”, nad którą pracował w czasie okupacji, a której promotorem był prof. Witold Budryk. W latach 1948-1950 pełnił funkcję prodziekana, a w latach 1950-1952 dziekana Wydziału Górniczego AGH. Od 1955 pracował w Zakładzie Mechaniki Górotworu PAN, a w latach 1965-1966 wykładał zagadnienia mechaniki górotworu na wydziale górniczym Uniwersytetu w Sarajewie. W ciągu swojej 37-letniej pracy naukowej opublikował 70 prac, w tym 5 książek – między innymi *Mechanikę górotworu*, *Mechanikę górotworu wraz z podstawami mechaniki ciał stałych* i wspólnie z prof. Henrykiem Filckiem *Wytrzymałość materiałów*. Publikacje z zakresu zachowania się górotworu w otoczeniu wyrobisk górnicy i wydane podręczniki są cenione po dzień dzisiejszy.

**Prof. Feliks Zalewski** początkowo w latach 1906-1914 studiował w Instytucie Górniczym w Petersburgu. W trakcie tych studiów w 1910 r. wziął udział w wyprawie geologicznej kierowanej przez wybitnego geologa prof. Karola Bohdanowicza, która poszukiwała złóż ropy na Kaukazie. Po uzyskaniu absolutorium przyjechał do Polski w celu odbycia praktyki dyplomowej i został zatrudniony w kopalni węgla kamiennego „Florian” (obecnie zlikwidowana już kopalnia „Saturn”). W kopalniach „Koszelew” (Dąbrowa Górnicza) oraz „Flora” i „Hrabia Renard” pracował do 1930 r. W 1922 r. uzyskał dyplom inżyniera na Akademii Górniczej w Krakowie (był jej drugim absolwentem). W 1930 roku został zatrudniony w Akademii Górniczej, w której pracował aż do 1960 r. Podczas II wojny światowej znalazł się on w gronie 183 pracowników krakowskich uczelni aresztowanych 6 listopada 1939 roku podczas hitlerowskiej „Sonderaktion Krakau”. Trafił do obozu koncentracyjnego w Sachsenhausen. Pod naciskiem światowej opinii publicznej większość profesorów w lutym została zwolniona. Po powrocie z obozu pracował w kopalni rudy żelaza „Jerzy” i równocześnie jako nauczyciel w Szkole Technicznej Górniczo-Hutniczo-Mierniczej na Krzemionkach w Krakowie. Szkoła ta w rzeczywistości była zakonspirowaną Akademią Górniczą przygotowującą przyszłe kadry dla górnicy i hutnictwa (ukończyło ją 400 techników). Po wojnie w latach 1945-1952 pełnił funkcję kierownika Katedry Górnicy II, a następnie w latach 1953-1960 kierownika Katedry Głębienia Szybów i Obudowy Górniczej. Opublikował kilkadziesiąt artykułów związanych z obudową wyrobisk (głównie szybów), transportem i odwadnianiem kopalń, ale także z różnorodnymi problemami geotechniki i budownictwa podziemnego (między innymi zajmował się statecznością osuwisk oraz przygotowywał plany i ekspertyzy dla budowy metra warszawskiego). Opracował technologię drążenia i doboru obudowy szybów w trudnych



Rys. 1. Schemat zmian organizacyjnych i rozwoju Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki  
 Fig. 1. Organizational changes and development diagram of the Department of Geomechanics, Civil Engineering and Geotechnics



warunkach hydrogeologicznych i górniczych, ze szczególnym uwzględnieniem metody sztucznego zamrażania górotworu. Technologię tę wykorzystano między innymi przy budowie Zagłębia Miedziowego na Dolnym Śląsku. Napisał wspólnie z współpracownikami kilka skryptów i podręczników. Przeprowadzał również liczne ekspertyzy dla przemysłu. Pionierskie i niezwykle ważne były rozpoczęte przez prof. Feliksa Zalewskiego już w 1956 r. prace ratunkowo-zabezpieczające podziemia zagrożonych średniowiecznych miast. W tym czasie szacowano, że w około 45 miastach istnieją dzielnice w różnym stopniu zagrożone zawaleniem się zabytkowych budynków. Przykładowo w Jarosławiu zniszczeniu uległo blisko 150 zabytkowych budynków na skutek zapadania się kilkukondygnacyjnych podziemi tworzących nieregularną sieć wyrobisk podziemnych (chodników, komór, piwnic, składów), pochodzących z okresu pomiędzy XV a XVIII wiekiem. W wyniku współpracy z prof. Zbigniewem Strzeleckim została opracowana metoda, nazwana od inicjałów nazwisk twórców Z-S (Zalewski-Strzelecki), dzięki której udało się uratować kilkadziesiąt średniowiecznych dzielnic miast zabytkowych, między innymi Jarosławia, Inowrocławia, Miechowa, Rzeszowa, Sandomierza, Opatowa, Krasnegostawu, Przemyśla, Kłodzka. W metodzie tej wykorzystywano zarówno osiągnięcia z zakresu budownictwa górniczego, jak również budownictwa podziemnego i naziemnego. Akcję ratowania miast zabytkowych pięknie opisano w książkach: Zalewski (1965), Strzelecki i inni, (1976), oraz Mikoś, Chmura, Tajduś, (2013). Ponieważ niektóre podziemia były bardzo wartościowe pod względem historycznym (niektóre pochodziły nawet z XIII wieku), a także architektonicznym, w miejscach, w których to było możliwe postanowiono utworzyć podziemne trasy turystyczne. Odpowiednio zagospodarowane podziemne trasy turystyczne miały pokazywać dawną świetność miasta. Powstawały z wybranych niepodłączonych wyrobisk korytarzowych i komorowych, pieczołowicie zrekonstruowanych z oryginalnych starych materiałów konstrukcyjnych. Dla upamiętnienia działalności prof. Feliksa Zalewskiego kilka tras nazwano jego imieniem między innymi podziemne trasy turystyczne w Jarosławiu, Kłodzku, Rzeszowie. Podziemna Trasa Turystyczna w Sandomierzu jest natomiast imienia prof. Zbigniewa Strzeleckiego.

W Polsce od końca II wojny światowej aż do początku lat sześćdziesiątych praktycznie nie wykonywano większych budowli podziemnych poza wyrobiskami związanymi z rozbudowującym się górnictwem. Większość wyrobisk podziemnych, w tym tunele, wydrążono na południu Polski w Sudetach i Karpatach (we fliszu karpackim) w drugiej połowie XIX wieku (16 budowli) oraz na początku XX wieku. Na początku lat sześćdziesiątych po dłuższym czasie zastoju rozpoczęto wykonywanie wyrobisk podziemnych niezwiązanych z górnictwem. Ówczesne katedry AGH, związane głównie z budownictwem górniczym: Katedra Mechaniki Górniczej oraz Katedra Głębinia Szybów i Obudowy Górniczej, szybko poszerzyły swoje zainteresowania naukowe o problematykę budownictwa podziemnego niegórniczego, tj. tunele drogowe, tunele hydrotechniczne, sztolnie, komory różnego przeznaczenia, podziemne garaże itp.

Po 1960 r. wiele tuneli i komór drażonych pod powierzchnią ziemi wykonywały przedsiębiorstwa związane z górnictwem, a w zdecydowanej większości tych inwestycji głosem doradczym, opiniotwórczym, a w niektórych przypadkach także projektowym, byli naukowcy z AGH, głównie z aktualnej Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii. Oto kilka przykładów:

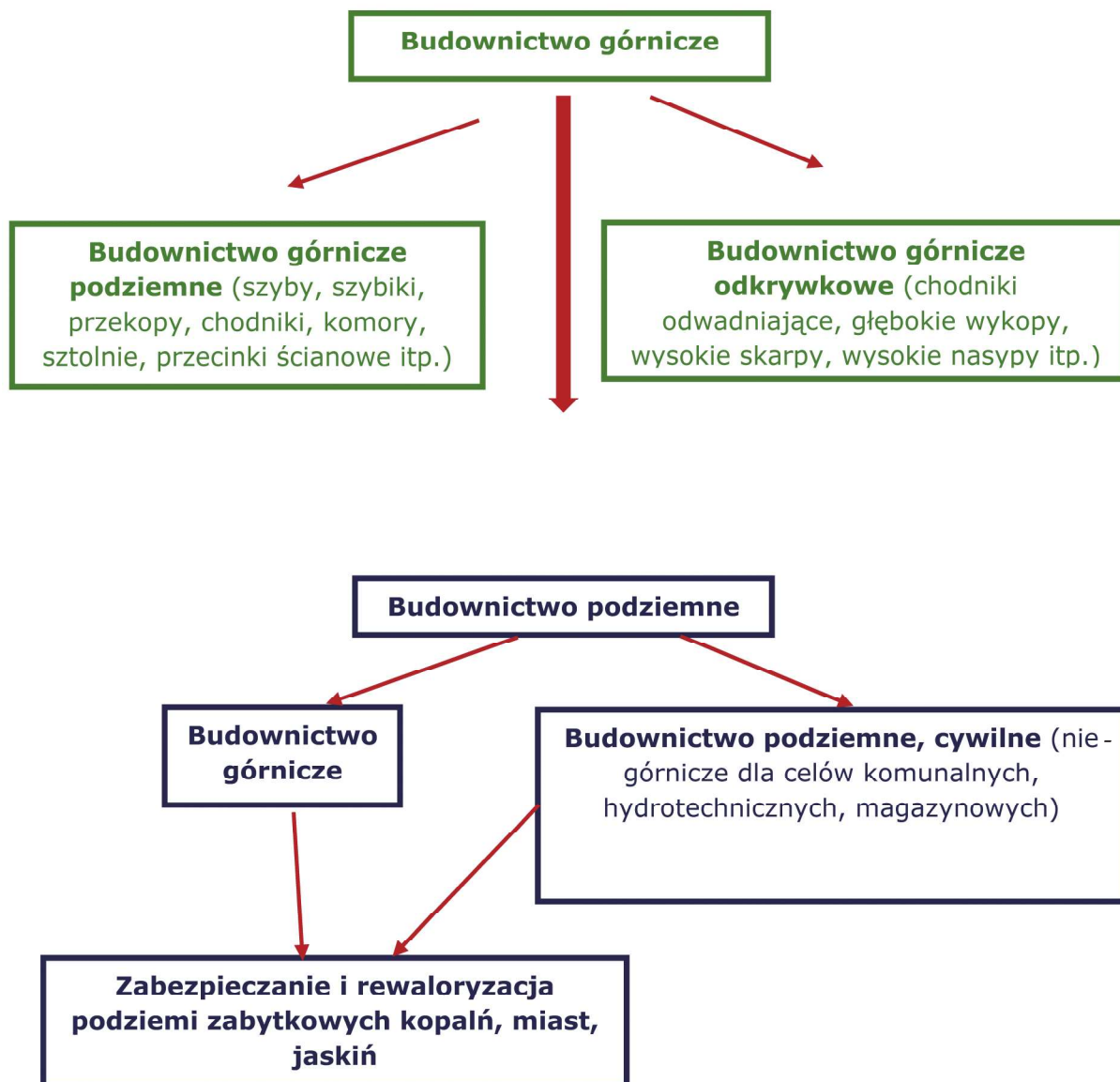
- wyrobiska podziemne hydroelektrowni „Porąbka-Żar” (1969-1977), „Młoty” (1971-1981), „Czorsztyn-Niedzica” (1977-1986),

- tunele hydrotechniczne w Tresnej (1961-1964), Dobczycach (1985-1986) i dwie sztolnie w Świnnej Porębie (1988-1994),
- I linia metra warszawskiego (1983-2008, wykonawca Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń z Lubina i PRG Metro),
- kilkanaście wyrobisk podziemnych i tuneli drażonych za granicą wykonywały polskie przedsiębiorstwa związane z budownictwem górniczym – głównie Przedsiębiorstwa Robót Górniczych, dla przykładu:
  - wyrobiska podziemne hydroelektrowni „Markersbach” (1973-1975) i Goldisthal (1975-1976) w Niemczech,
  - wyrobiska podziemne hydroelektrowni „Messochora” (1994-1997) w Grecji,
  - tunel kolejowy „Ankaray” (1993-1999) w Turcji,
  - tunel na trasie Iijet-Ramdan Djamel (1984-1988) w Algierii,
  - tunele drogowe w Izmit (1988-1991) i Nur-dagi (1992-1994) w Turcji,
  - Tsing Yi (1993-1995) w Hong-Kongu,
  - Har Giló Long Tunnel (1993-1994) w Izraelu,
  - tunel drogowy w Czarnogórze (1991),
  - 3 tunele na Wyspach Kanaryjskich,
  - garaże podziemne w Berlinie, w centrum Frankfurtu, Palma de Mallorca.

Znaczny wzrost rozwoju prac nad zagadnieniami budownictwa podziemnego, w tym tunelowego nastąpił po przyłączeniu w 2000 r. do Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki, Pracowni Budownictwa Podziemnego (za dziekaństwa prof. Antoniego Tajdusia) i zmianie nazwy na Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. Ten wzrost był wyraźnie zauważalny, bowiem po integracji tych jednostek zaczęto w kraju i za granicą publikować wiele wspólnych artykułów, referatów, ekspertyz, prac naukowo-badawczych, zorganizowano szereg wspólnych konferencji, zjazdów absolwentów itp.

Rozszerzenie działalności Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki na budownictwo podziemne o tyle było naturalne bowiem:

- Typowe budownictwo górnicze zajmuje się drażeniem setek kilometrów wyrobisk w kopalniach mało-, średnio- i wielkogabarytowych (komory, sztolnie, przekopy, szyby, szybiki, wyrobiska korytarzowe). Dla przykładu w tym czasie w kopalniach rocznie przeciętnie wykonywano około 400-500 km wyrobisk korytarzowych. Ma wypracowane nie tylko metody drażenia i zakładania obudowy, ale także zasady bezpieczeństwa pracy.
- Drażenie wykonywane jest w górotworze, a podczas drażenia tuneli wykorzystywane są elementy techniki górniczej, do których zalicza się: urabianie skał mechaniczne lub z użyciem materiałów wybuchowych, wykonanie obudowy tymczasowej, wstępnej i ostatecznej ( jako elementy obudowy wykorzystuje się beton natryskowy, siatki, kotwy, obudowy stalowe głównie typu ŁP, które stanowią standardową obudowę wyrobisk górniczych korytarzowych i komorowych), ładowanie, odstawę i transport podziemny urobku, sposoby przewietrzania, drażenie szybów i szybików dla długich tuneli.
- Do połowy XX wieku tunele były wykonywane klasycznymi metodami górniczymi (metody: austriacka, francuska, belgijska, niemiecka, angielska itp.) z podziałem przekroju przodka na części. Później pojawiły się metody: Nowa Austriacka Metoda Budowy Tuneli, Norweska Metoda Budowy Tuneli, które w dużej części oparte są o technikę górniczą.
- W czasie drażenia wyrobisk podziemnych wykorzystuje się również elementy wiedzy i nauki górniczej w postaci zasad przewietrzania i odwadniania wyrobisk, wpływu



Rys. 2. Rozwój budownictwa podziemnego  
Fig. 2. Underground construction development

wyrobisk na górotwór i powierzchnię terenu, bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach podziemnych oraz zwalczania zagrożeń (zagrożenie gazowe, pożarami, wyrzutami gazów i skał, zagrożenie wodne i kurzawkowe itp.).

Zatem budownictwo podziemne na AGH pojawiło się jako naturalna kontynuacja budownictwa górnictwa (rys. 2).

Podczas projektowania i wykonywania budowli podziemnych, w tym tuneli, wykorzystuje się wiedzę z zakresu: mechaniki gruntów i mechaniki skał, geologii i geologii inżynierskiej, materiałów, w tym specjalnych, obudowy i jej współpracy z górotworem, badań polowych, aerologii górniczej, hydromechaniki, hydrogeologii, wiertnictwa, urabiania i/lub techniki strzelniczej, prawa górnictwa, geologicznego, budowlanego, geofizyki, bezpieczeństwa pracy w budownictwie podziemnym, ratownictwa górnictwa. Większością tych zagadnień naukowych zajmują się pracownicy Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. Mają znaczny udział w rozwoju wiedzy w takich obszarach nauki jak:

1. **Zastosowanie metod numerycznych** do rozwiązywania zagadnień związanych z mechaniką górotworu, budownictwem podziemnym, w tym szczególnie tunelowym

(Tajduś i in. 2012). Prace te pozwoliły dostosować metody numeryczne: metodę elementów skończonych (MES), metodę elementów brzegowych (MEB), metodę różnic skończonych (MRS) do górotworu traktowanego jako ośrodek ciągły oraz metodę elementów odrębnych, teorię bloków, teorię symulacji bloków do górotworu traktowanego jako ośrodek nieciągły. Prace prof. Jana Wałaszczyka, prof. Antoniego Tajdusa z MES były pierwszymi w Polsce dotyczącymi mechaniki górotworu i budownictwa podziemnego. Na wyróżnienie zasługują też prace dr. hab. Jacka Jakubowskiego, który opracował programy dla teorii bloków z wykorzystaniem metody Monte Carlo. Szczególnie ważne są prace prof. Marka Cała koncentrujące się na zastosowaniu metody różnic skończonych w zagadnieniach geotechniki oraz geomechaniki. W zakresie tym można wskazać prace koncentrujące się na stabilizacji wyrobisk podziemnych (Tajduś, Cała 2000), ocenie stanu naprężenia w otoczeniu filarów lub resztek pokładów (Cała, Tajduś 2001), czy modelowaniu współpracy masywu skalnego z kotwami (Cała 1998, 1999).

– Pomiary *in situ*, a zwłaszcza oprzyrządowanie dla tych pomiarów (prace prof. Tadeusza Majcherczyka, dr. hab.

- Zbigniewa Niedbalskiego i dr. hab. Piotra Małkowskiego).
- Badania nad nowymi materiałami wykorzystywanymi w budownictwie podziemnym (prace prof. Piotra Czaji).
- Metody oceny stateczności oraz wzmocnienia gruntów i skał (prace prof. M. Cały, dr. Stopkowicz, dr. Kowalskiego),
- Analizy geomechaniczne wyrobisk podziemnych, w tym w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnicych, wraz z propozycją ich zabezpieczenia (prace prof. M. Cały, dr. Wałacha, dr. Kowalskiego, dr. Stopkowicz, mgr. Blajera (Cała i in. 2016, 2017).
- Ocena jakości masywu skalnego (Cała i in. 2019a) i analiza jego współpracy z obudową dla tuneli w warunkach fliszu karpackiego drążonych przy zastosowaniu metody ADECO-RS, metody NATM (Tajduś i in., 2012, Cała i in. 2019b).
- Nowoczesne metody badań gruntów i skał, a także analogów materiałów kosmicznych (np. Kolano, Mazurek 2013).

W celu lepszego przygotowania kadr do budownictwa podziemnego, w tym tunelowego, od ponad 20 lat na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii prowadzone są studia na kierunku budownictwo w specjalności „Geotechnika i budownictwo specjalne”. Dwa lata temu uruchomiono studia podyplomowe głównie dla inżynierów budownictwa i górnictwa z zakresu budownictwa podziemnego „Budownictwo i bezpieczeństwo tunelowe”. Studia te cieszą się ogromnym zainteresowaniem.

W Katedrze Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki (od blisko 80 lat) prowadzone są prace nad zabezpieczeniem zagrożonych wyrobisk podziemnych zabytkowych zespołów staromiejskich, zabytkowych kopalń i innych podziemi. Zabezpieczenie i ochronę obiektów podziemnych i naziemnych prowadzi się wykorzystując metody budownictwa podziemnego i górnicych, dotychczasowe wieloletnie doświadczenie kadry naukowej, różnego rodzaju aparaturę umożliwiającą prowadzenie badań i eksperymentów naukowych, oraz najnowsze programy komputerowe pozwalające na symulację numeryczną wielu zjawisk fizycznych. O wielkim zainteresowaniu problematyką i możliwościami Katedry, kwalifikacjach Kadry i jej osiągnięciach naukowo-wdrożeniowych najlepiej świadczy kilkaset publikacji, referatów oraz ponad 370 prac dyplomowych, poświęconych jedynie ratowaniu zabytkowych kopalń, podziemi, zespołów staromiejskich i obiektów monumentalnych. Ze względu na duże zainteresowanie tą działalnością Katedra od kilkunastu lat kształci studentów w specjalności „Geotechnika w rewitalizacji zabytków”.

Dotychczas w Polsce, pracownicy Katedry uzupełnieni o specjalistów z innych dziedzin: geologów i geodetów zabezpieczyli staromiejskie podziemia 17 miast, wśród których można wymienić:

- Jarosław (piwnice i składy kupieckie pochodzące z XV-XVII wieku),
- Sandomierz (piwnice i tunele z XV w.),
- Kłodzko (tunele i komory o charakterze gospodarczym i militarnym z XIII-XVII w.),
- Opatów (trzykondygnacyjny zespół tuneli i piwnic kupieckich z XII-XIV w.),
- Rzeszów (34 piwnice pod kamienicami i płytą Rynku z XV-XVI w.),
- Świdnica (blisko 280 podziemnych piwnic, komór z XIV, XV w.),
- Krasnystaw (podziemne magazyny z XVI w.),
- Przemyśl (wielopoziomowe piwnice z XV w.),
- Bodzentyn (dwu- i trójkondygnacyjne komory z XIV w.),
- Kraśnik (dwupoziomowe piwnice i tunele, do dzisiaj część słabo rozpoznana),
- Lublin (komory i tunele z XV i XVI w.),

- Krosno (komory i tunele z XIV – XVI w.). Oprócz staromiejskich podziemi pracownicy Katedry brali udział w zabezpieczeniu:
- starych kopalń (Krzemionki, Wieliczka (rys. 3), Bochnia, Chełm, Olkusz, Złotoryja, Złoty Stok, Głuchołazy, Kłodawa, Szklary k. Ząbkowic Śląskich, Jarmuta, Tomaszów Mazowiecki, Dąbrowa Górnicza „Szygarka”),
- jaskiń i grot (Puławy – Grota Izabeli Czartoryskiej, Jaskinia Obłazowa, Smocza Jama na Wawelu, Groty Kryształowe w Wieliczce (rys. 3 i 4),
- obiektów pomilitarnych, obronnych i komunikacyjnych (Sztolnie będzińskie, Sztolnie pod Górą Parkową w Kamiennej Górze, Zabytkowy kolektor sanitarny w Przemyślu, Twierdza w Srebrnej Górze),
- obiektów kultu religijnego (Kościół św. Włodzimierza w Kunowie, Panteon Narodowy w kościele św. Piotra i Pawła w Krakowie, Zespół klasztorny w Szczyrzycu).

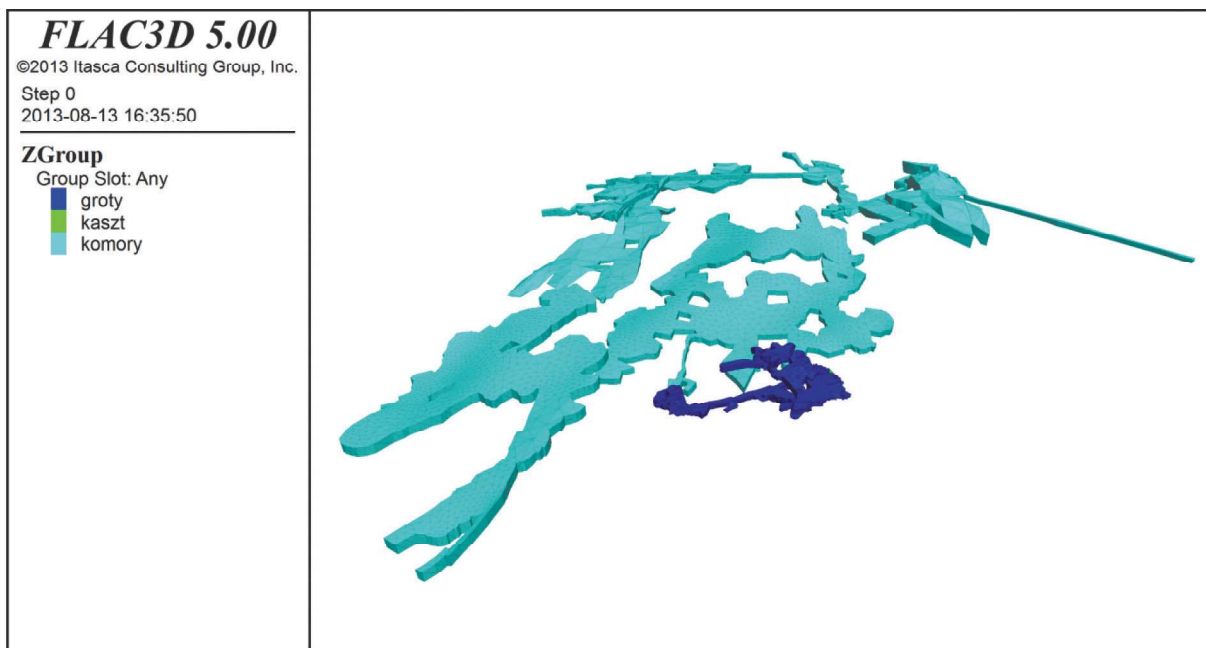
Zabezpieczanie podziemi polegało między innymi na: wzmocnianiu fundamentów, wymianie obudów wyrobisk podziemnych, ujęciu wody i przebudowie sieci wodociągów oraz kanalizacji, zlokalizowaniu i zlikwidowaniu wielu wyrobisk podziemnych komór i tuneli, pozostawiając te, które połączone ze sobą mogły tworzyć podziemne trasy turystyczne. Tworzenie podziemnych tras turystycznych związane było i jest ze wzrostem zapotrzebowania na tzw. „turystykę podziemną”, czyli zwiedzanie tajemniczych podziemi, które przyciągają ludzką wyobraźnię sentymentem, osobliwością i historią. Aktualnie w Polsce znajduje się 35 podziemnych tras turystycznych zlokalizowanych w 34 obiektach podziemnych, o łącznej długości około 35 km, które rocznie zwiedza ponad 2,5 mln osób, przy zabezpieczaniu większości z nich brali udział pracownicy Katedry.

#### 4. Stan aktualny budownictwa podziemnego na świecie i w Polsce

W ostatnich kilkudziesięciu latach budownictwo podziemne w świecie przeżywa wyjątkowy rozkwit. Jest szereg przyczyn, dla których budownictwo podziemne jest i będzie wykorzystywane w coraz większym zakresie:

- Następuje ciągle wzrost liczby ludności w świecie, przenoszenie się ludzi ze wsi do miast i związana z tym ich rozbudowa. Szacunki ONZ wskazują, że po roku 2020 blisko 50 % ludności na świecie będzie żyło w wielkich miastach. Niektóre dzisiejsze miasta staną się metropoliami, a te megametropoliami. W tych ogromnych skupiskach ludzi z dużą pewnością wystąpi problem zapewnienia szybkich i wydajnych dróg transportowych, dostarczania czystej wody, energii, towarów oraz odstawy odpadów. Rozwiązanie tego problemu będzie głównym zadaniem budownictwa podziemnego.
- W wielu miastach występuje gęsta zabudowa powierzchni, brak terenów na zabudowę, konieczność lepszego wykorzystania terenów i rozsądnego rozmieszczenia obiektów, stąd pod ziemią będą budowane przejścia podziemne, metra, premetra, parkingi podziemne, mikrotunele, baseny, boiska sportowe, podziemne sklepy itp.
- Ze względu na odizolowanie się od warunków zewnętrznych (stałe warunki klimatyczne, naturalne katastrofy, trzęsienia ziemi). Aktualnie zachodzą zmiany klimatyczne, a z nich wynikają dodatkowe wyzwania dla budownictwa podziemnego. Lokalizacja ciągów komunikacyjnych pod ziemią przyczynia się do ograniczenia zanieczyszczenia środowiska, eliminuje hałas i zaburzenia istniejących obiektów na powierzchni.





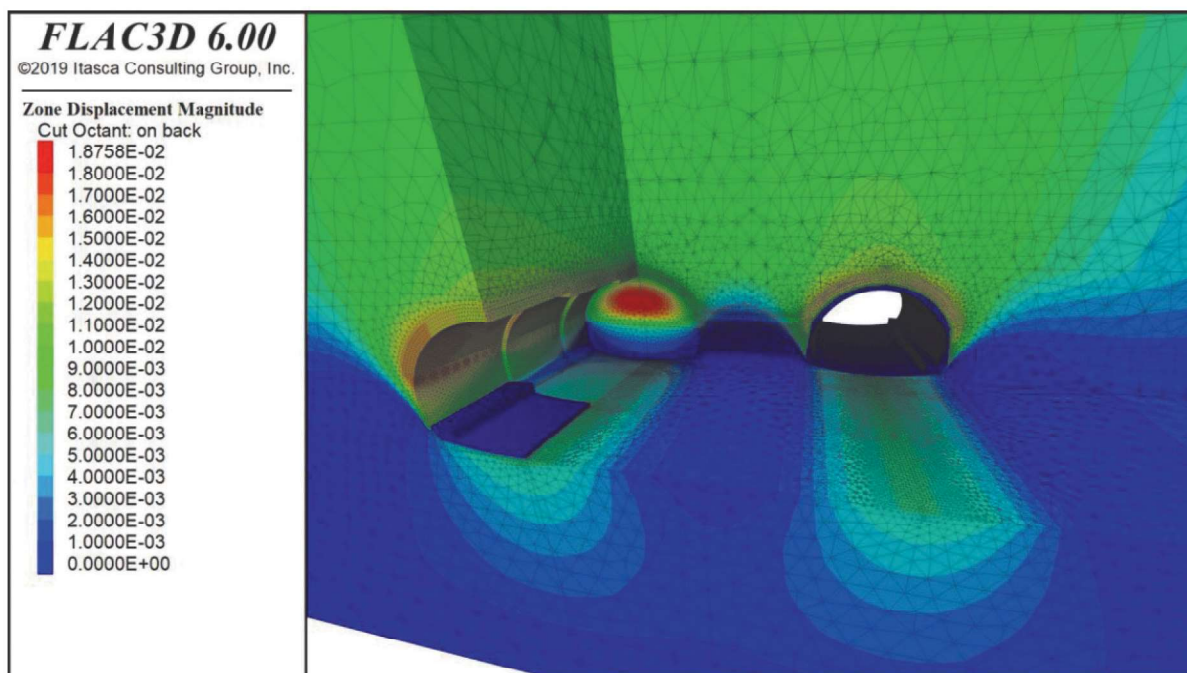
**Rys. 3. Model numeryczny Grot Kryształowych na tle otaczających komór** (po lewej bliżej – komora Munch i Schwind, nieco w oddali komory Ferro, w centralnej części powyżej Grot – komora Baum, w oddali komora Leopold Górny, po prawej komora Schmidt i poprzeczna Schmidt prowadząca do tamy przy zawalonej komorze Schmidt) (Cała i in., 2016)

**Fig. 3. Crystal Caves and surrounding workings** (close left – Munch and Schwind chambers, far left – Ferro chambers, central part, above Caves – Baum chamber, far central part – Upper Leopold chamber, right side – Schmidt chamber and Schmidt heading) (Cała i in., 2016)

- Dla ochrony środowiska (ekologii, estetyki).
- Z powodu topografii terenu (tunele pod wzniesieniami, rzekami itp.).
- Z powodów społecznych, bytowych (transport wody, transport odpadów).

W Polsce budownictwo podziemne po wielu latach zastoju zaczyna się burzliwie rozwijać, co spowodowane jest głównie budową tuneli dla dróg i autostrad, tuneli dla modernizowanych i budowanych nowych połączeń kolejowych, a także

budową metra w Warszawie i przygotowaniem się do budowy w innych miastach. Okazało się, że jedną z niewielu w Polsce jednostek przygotowanych, mających wiedzę i doświadczenie w budowie tuneli metodami podziemnymi jest Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH. Z tego powodu pracownicy tej Katedry biorą udział w większości realizowanych aktualnie tuneli, a także przygotowanych do realizacji. Prace te wykonywane są pod kierunkiem prof. Antoniego Tajdusia, prof. Marka Cały oraz dr Agnieszki



**Rys. 4. Przemieszczenia całkowite, etap 71 - drążenie lewej nitki tunelu, postęp przodka s = 21,625 m** (Kowalcze, 2019)  
**Fig. 4. Total displacements, stage 71 - drilling of the left tunnel, tunnel face progress s = 21.625 m** (Kowalcze, 2019)

Stopkowicz. Aktualnie prowadzą oni doradztwo eksperckie i nadzór nad budową tunelu w Naprawie na drodze Kraków – Zakopane, biorą udział w przygotowaniach do budowy tuneli na drodze S-19 Rzeszów – Barwinek, a także tuneli w rejonie Legnicy (Bolków) na drodze S-3. Są przygotowani do prowadzenia nadzoru nad budową: 2 tuneli w rejonie Krynicy, tunelu w Jordanowie, 13 tuneli kolejowych na linii kolejowej Kraków - Piekiełko, dwóch tuneli na linii kolejowej Kraków – Myślenice. W ramach tych prac przygotowano kilkanaście prac magisterskich (rys. 4), prowadzonych pod kierunkiem pracowników Katedry, zajmujących się problemami jakie mogą wystąpić podczas drażenia tuneli w tych lokalizacjach.

Pracownicy Katedry (prof. Cała, prof. Tajduś, dr Stopkowicz, mgr Kolano) opracowali wytyczne do oceny jakości masywu skalnego i rozpoznania budowy geologicznej dla projektowania tuneli drogowych w ramach: *Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego. Część 1 - Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie*. PIG, AGH, PW, 2018 (zrealizowane w ramach projektu naukowego „Nowoczesne metody rozpoznania podłoża gruntowego w drogownictwie”, sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w ramach wspólnego przedsięwzięcia Rozwój Innowacji Drogowych (RID)). Należy podkreślić, że wytyczne te zostały wprowadzone do stosowania od dnia 7 czerwca 2019 r., kiedy to Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) podpisał zarządzenie nr 22 w sprawie wprowadzenia do stosowania w GDDKiA „Wytycznych badań podłoża budowlanego na potrzeby budownictwa drogowego”.

## 5. Podsumowanie

Budownictwo podziemne będzie się dalej intensywnie rozwijać. Potwierdzają to naukowcy zajmujący się rozwojem infrastruktury drogowej i miejskiej, którzy uważają, że bez zagospodarowania przestrzeni podziemnej, zrównoważony rozwój świata jest niemożliwy. Najbardziej ujął to jeden z najwybitniejszych naukowców zajmujących się mechaniką skał, Charles Fairhurst (przewodniczący International Society for Rock Mechanics). Powiedział On: „We have to go underground to stay on the top!”. Biorąc pod uwagę, dotychczasowy dorobek naukowy i dydaktyczny Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, autorzy publikacji uważają, że pracownicy Katedry są przygotowani na wyzwania jakie niesie współczesne budownictwo podziemne.

## Literatura

- CAŁA M. 1999 - Możliwości określenia parametrów obudowy kotwiowej dla wyrobisk umiejscowionych w górotworze spekanym. Geotechnika w górnictwie i budownictwie specjalnym, AGH Kraków.
- CAŁA M., TAJDUŚ A. 2001 - Stan naprężenia pod pozostawionym filarem lub resztką pokładu. Prace Naukowe GIG. Tapania 2001. Miary ocen stanu zagrożenia tapaniami i skuteczności profilaktyki. Katowice.
- CAŁA M., TAJDUŚ A. 1998 - Mechanizm współpracy kotwi z górotworem ciągłym. XXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu, Zakopane.
- CAŁA M., STOPKOWICZ A., KOWALSKI M., BLAJER M., CYRAN M., D'OBRYN K. 2016 - Stability analysis of underground mining openings with complex geometry *Studia Geotechnica et Mechanica*; ISSN 0137-6365, vol. 38 no. 1, s. 25–32. Bibliogr. s. 32. 2016.
- CAŁA M., TAJDUŚ A., ANDRUSIKIEWICZ W., KOWALSKI M., KOLANO M., STOPKOWICZ A., CYRAN K., JAKÓBCZYK J. 2017 - Long term analysis of deformations in salt mines: Kłodawa Salt Mine case study, central Poland (Długoterminowa analiza deformacji w kopalniach soli: Kopalnia Soli Kłodawa, centralna Polska). *Archives of Mining Sciences*. ISSN 0860-7001, vol. 63 iss. 3, s. 565–577. - Bibliogr. s. 576–577.
- CAŁA M., TAJDUŚ A., STOPKOWICZ A., KOLANO M., BLAJER M. 2019a - Rozpoznanie masywu fliszowego i klasyfikacja jego jakości, „MOSTY” 3-4/19, s. 89.
- CAŁA M., TAJDUŚ A., STOPKOWICZ A., KOLANO M., BLAJER M. 2019b - Współczesne metody drażenia tuneli – wybrane problemy w zakresie doboru obudowy. „MOSTY” 5/19, s. 42.
- KOLANO M., MAZUREK J. 2013 - The results of the research on physical and mechanical properties of rock analogues and moon soils (Wyniki badań właściwości fizycznych i mechanicznych analogów skał i gruntów księżycowych). *AGH Journal of Mining and Geoen지니어ing* ; ISSN 2299-257X. Tytuł poprz.: *Górnictwo i Geoinżynieria* ; ISSN: 1732-6702. - 2013 vol. 37 no. 1, s. 35–49. - Bibliogr. s. 49.
- KOWALCZE Ł. 2019 - Przestrzenna analiza numeryczna dla oceny stateczności wybranych odcinków tuneli na przykładzie obiektu Rabka – Lubień, praca dyplomowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Marka Cała, materiał niepublikowany.
- MIKOŚ T., CHMURA J., TAJDUŚ A. 2013 - *Górnictwo ratownicze*, Wyd. AGH, Kraków.
- SALUSTOWICZ A. 1955 - *Mechanika górotworu*, Wydawnictwo Górniczo-Techniczne, Stalino (Katowice).
- STRZELECKI Z. i inni 1976 - *Miasta, które mogły zginąć*, PW Wiedza Powszechna, Warszawa.
- TAJDUŚ A., CAŁA M. 2000 - *Stabilizacja wyrobisk podziemnych. Stabilizacja masywów skalnych w podłożu budowlany hydrotechnicznych*. PAN, PW.
- TAJDUŚ A., CAŁA M., TAJDUŚ K. 2012 - *Geomechanika w budownictwie podziemnym, Projektowanie i budowa tuneli*, Wyd. AGH, s.762, Kraków.
- ZALEWSKI F., STRZELECKI Z., ŚLEBODZIŃSKI J., SROKA J. 1965 - *Akcja ratunkowa w zabytkowych miastach w Polsce zagrożonych dawnymi wyrobiskami podziemnymi*, IV Międzynarodowy Kongres Urbanistyki i Budownictwa Podziemnego, Warszawa.
- ZALEWSKI F. 1965 - *Górnictwo ratunkowe w Jarosławiu, Kłodzku i Sandomierzu*, Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia, Jarosław.

Artykuł wpłynął do redakcji – wrzesień 2019  
Artykuł akceptowano do druku – 27.09.2019