

# Geotechniczne i konstrukcyjne kompleksowe metody zabezpieczania zabytkowej Staromiejskiej Dzielnicy Opatowa

## Geotechnical and construction comprehensive methods of securing the historic Old Town District of Opatów



*Dr inż. Urszula Kurlito\**



*Dr hab. inż. Tadeusz Mikoś prof. AGH \*\*)*

**Treść:** W artykule przedstawiono geotechniczne i konstrukcyjne metody kompleksowego zabezpieczania Staromiejskiej Dzielnicy Opatowa. Opisano początkowe prace w tym zakresie oraz budowę geologiczną formacji lessowej występującej w rejonie Opatowa wraz z występującymi zagrożeniami w rejonie podziemnych obiektów. Przedstawiono również zakres prac badawczo-rozpoznawczych oraz zabezpieczająco-likwidacyjnych te obiekty. Opisano sposób zagospodarowania staromiejskich podziemi jako trasy turystycznej. Przedstawiono także podstawowe elementy Metody Z-S, stanowiącej schemat postępowania przy zabezpieczaniu staromiejskich dzielnic.

**Abstract:** The geotechnical and construction comprehensive methods of securing the old-town district of Opatów have been presented. The beginnings of securing works with the geological characterization of the loess formation occurring in the area of Opatów as well as hazards occurring in the area of the underground objects have been described. The scope of research and reconnaissance as well as security and liquidation of these objects was also presented. The method of developing the Old Town underground as an tourist route was described. Also the basic elements of the Z-S Method, which illustrates the procedure for securing old districts has been presented.

### **Słowa kluczowe:**

*Metoda Z-S, zabezpieczanie staromiejskich podziemi, less, materiał podsadzkowy, podziemna trasa turystyczna*

### **Keywords:**

*Z-S Method, securing the old-town undergrounds, loess, filling material, underground tourist route*

## **1. Wprowadzenie**

Dewizą naukową 100-letniej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie jest łacińska sentencja „Labore creata, labori et scientiae servio”, czyli „Z pracy powstałam, pracy i nauce służę”.

Maksyma ta jest zgodna i przestrzegana w szeroko rozumianej działalności naukowo-badawczej tej uczelni. Zaprogramowana jest w taki sposób, aby oprócz realizacji procesu dydaktycznego i rozwoju kadry naukowej, służyła praktycznemu rozwiązaniu ważnych problemów gospodarczych.

Przykładem takiego wykorzystania potencjału naukowo-badawczego Uczelni są m.in. kilkupokoleniowe prace specjalistycznych zespołów naukowych na Wydziale Górnictwa

i Geoinżynierii AGH w zakresie badań, adaptacji i rekonstrukcji zabytkowych podziemi w naszym kraju, przy zastosowaniu metod górniczo-budowlanych i architektonicznych.

Zweryfikowane ponad 80-letnią praktyką doświadczenia tych zespołów wykorzystane były i są nadal stosowane z powodzeniem do wzmacniania górotworu, jak również stabilizacji podziemnych i naziemnych budowli oraz ich elementów konstrukcyjnych.

Dzięki takim pracom badawczym i wdrożeniowym, opartym na współpracy z przemysłem górniczym i terenowymi jednostkami administracji państwowej, zostały usunięte zagrożenia w wielu zabytkowych podziemiach oraz znajdujących się nad nimi budowlach naziemnych.

Dzięki pracom tych zespołów AGH można dziś uznać, że wiele zabytkowych dzielnic staromiejskich zostało uratowanych. Równolegle, zgodnie z koncepcją udostępniania przyszłym pokoleniom unikalnych zabytków podziemnych, pod powierzchnią wielu miast powstały atrakcyjne trasy turystyczne.

\*<sup>1</sup>) Mota-Engil Central Europe S.A., Kraków

\*\*<sup>2</sup>) AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, WGiG

## 2. Początki zabezpieczania staromiejskich dzielnic

Idea kompleksowego ratowania i zabezpieczania staromiejskich dzielnic polskich miast przy zastosowaniu geotechnicznych oraz górniczych metod powstała ponad 80 lat temu ówczesnej Akademii Górniczej z inicjatywy profesorów Feliksa Zalewskiego (1888-1966) oraz jego ucznia Zbigniewa Strzeleckiego (1922-1988) i stosowana jest aż do dnia dzisiejszego.

Pierwszym miastem poddanym akcji ratunkowo-zabezpieczającej był Jarosław. Zdobyte wówczas cenne doświadczenia wykorzystane zostały w innych zabytkowych dzielnicach miejskich m.in. w Opatowie (Tajduś i in. 2006). W wyniku przeprowadzonych badań odkryto, że teren staromiejskiego centrum Opatowa skrywał liczne, głębokie i rozległe ruchome zapadliska nawierzchni placów i ulic. Widoczne też były znacznie popękane ściany budynków, z wyraźnymi przemieszczaniami, a nawet odchyleniami od pionu. Celem rozpoczętych badań było ustalenie przyczyn postępujących zniszczeń, a także zaproponowanie, a następnie opracowanie planów działań naprawczych oraz zapobiegawczych. Pierwotnie sądzono, że bezpośrednią przyczynę zagrożenia stanowił zwiększony ruch samochodowy, a także większe obciążenie podłoża z uwagi na wykonane nadbudowy lub też zmiany sposobu użytkowania budynków (Kohutek, Żak 2006). Zespół naukowy AGH po wnikliwej analizie stwierdził, że przyczyny postępujących zniszczeń oraz zagrożeń stanowiły:

- uwarunkowania historyczne,
  - uwarunkowania geotechniczne,
  - nieodpowiednie fundamentowanie obiektów starego budownictwa,
  - zły stan techniczny konstrukcji naziemnej budynków,
  - zły stan techniczny podziemnej sieci wodociągowej i kanalizacyjnej (źródło niekontrolowanych przecieków),
  - zły stan odwodnienia powierzchniowych (miejscami ich brak),
  - zły stan utrzymania wysokich skarp terenowych i murów oporowych, odpowiedzialnych za stateczność naziemnych.
- Dzięki działalności Zespołu uratowano zabytkowe podziemia miasta oraz wyeliminowano istotne zagrożenie dla mieszkańców (Tajduś i in. 2006).

## 3. Budowa geologiczna w rejonie miasta

Opatów znajduje się na Wyżynie Sandomierskiej, cechując się urozmaiconą rzeźbą terenu. Starsze podłoże zbudowane jest z utworów masywu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich i permsko-mezozoicznej osłony jego obrzeża. Granicę stanowi dolina Opatówki, od której obszar na południe to masyw paleozoiczny, natomiast część północną stanowią osady triasu, jury i kredy (Baradziej 2004). Utwory paleozoiczne przykryte są serią osadów czwartorzędowych miąższości 20 m, które stanowią:

- warstwa żwirów miąższości 0,6 m,
- warstwa lessów miąższości 10-15 m,
- warstwa nasypów antropogenicznych zmiennej miąższości do 7 m (Tajduś i in. 2006, Geoprojekt 1972).

Największy obszar zajmuje wysoczyzna lessowa (Baradziej 2004). Składa się z pyłów oraz glin pylastych, miejscami z wkładkami piasku i gliny. W Opatowie występują także deluwia lessowe, piaski i żwiry terasów rzecznych, utwory peryglacialne, a także holocenijskie, piaski, torfy, namuły i mady rzeczne (Tajduś i in. 2006).

## 3.1. Charakterystyka lessów

Less Polski wchodzi w skład równoleżnikowo biegnącej strefy lessowej zaczynającej się nad Atlantykiem we Francji. W Polsce rozwinął się w dwóch obszarach: na wyżynach południowopolskich oraz na północnych stokach Karpat i Sudetów. Dolna granica występowania lessów w płacie opatowsko-sandomierskim znajduje się na wysokości 170 – 180 m n.p.m. W miejscach tych miąższość pokrywy lessowej wynosi 20 metrów i więcej. Lessy są materiałem pylastym, charakteryzującym się wysoką porowatością od 46 do 52% i wskaźnikiem plastyczności od 5 do 10%. Na Wyżynie Opatowsko – Sandomierskiej porowatość lessów waha się w granicach 35 – 48% (Jersak 1973). Lessy składają się z krawędziastych ziaren kwarcytu (60 – 70%), węgla wapnia (10 – 25%), a także innych minerałów ilastych (10 – 20%) o granulacji od 0,05 do 0,002 mm.

Przykładowe parametry geomechaniczne ośrodka lessowego, uzyskane podczas badań próbek lessu w rejonie ul. Sempołowskiej w Opatowie zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Zestawienie parametrów lessu (Kohutek, Żak 2006)**  
**Table 1. List of less parameters (Kohutek, Żak 2006)**

Parametr	Oznaczenie	Wartość [jednostka]
wilgotność naturalna	$w_{nr}$	16,4 [%]
ciężar objętościowy	$\gamma_{gr}$	20,34 [kN/m <sup>3</sup> ]
wytrzymałość na ściskanie	$R_{cs,gr}$	4,30 [N/cm <sup>2</sup> ]
współczynnik kohezji	$k_{gr}$	1,47 [N/cm <sup>3</sup> ]
kąt tarcia wewnętrznego	$\rho_{gr}$	26 [°]

Z innych badań wynika, że wskaźnik osiadania zapadowego lessu  $i_{mp}$  dla Staromiejskiej Dzielnicy Opatowa dochodzi do wartości 0,1, co z kolei świadczy o wysokiej skłonności lessu do zmiany struktury bez jakiegokolwiek zewnętrznego obciążenia (Kohutek, Żak 2006). W tym przypadku, na skutek nawodnienia, less, który zazwyczaj jest gruntem zwartym i spoistym oraz stanowi stabilne podłoże fundamentowe zmienia niekorzystnie swoje właściwości geotechniczne. Przy 20% nasyceniu wodą ulega uplastycznieniu, natomiast przy ok. 35% nasyceniu osiąga konsystencję ciekłą, w wyniku czego następuje utrata nośności podłoża i stateczności konturów wyrobiska. Prowadzi to do nierównomiernego osiadania budynków i w efekcie dochodzi do pęknięcia ścian. W skrajnych przypadkach proces ten może doprowadzić nawet do katastrofy budowlanej i zawalenia się budynku (Kohutek, Żak 2006). Problem braku odpowiedniego odwodnienia Staromiejskiej Dzielnicy Opatowa stanowi jedną z głównych przyczyn zagrożenia dla konstrukcji zabytkowej zabudowy, który zostanie szczegółowo przedstawiony w kolejnej części artykułu.

## 4. Zagrożenia w rejonie podziemi

### 4.1. Pustki podziemne, zapadliska i uszkodzenia ścian budynków

Brak zainteresowania podziemnymi piwnicami i korytarzami w Opatowie, spowodowany zanikiem handlu w XVII wieku, przyczynił się do samopodsadzenia, względnie zasypiania większości pustek podziemnych lub ich celowym zamurowaniem. Z czasem zapomniano o ich istnieniu. Infiltracja wód powierzchniowych, względnie wód z nieszczelnej instalacji wodno-kanalizacyjnej w głąb górotworu oraz brak odpowiedniego utrzymania zamurowanych piwnic przyczyniały się do zawalania się wyrobisk i tym samym do

tworzenia zapadlisk na powierzchni oraz uszkodzeń budynków (Czekajowski i in. 1989). Zniszczenia miasta były na tyle poważne, że Miejska Rada Narodowa w Opatowie już w 1966 roku zwróciła się z prośbą do prof. Strzeleckiego o podjęcie akcji ratunkowo-zabezpieczającej. Tym samym podjął on wraz z Zespołem Naukowym AGH i przy udziale górników z Przedsiębiorstwa Robót Górniczych w Bytomiu, prace polegające na inwentaryzacji oraz zabezpieczeniu miasta (Mikoś i in. 2013).

Celem tej współpracy miało być wyjaśnienie mechanizmu destrukcji naziemnej części Opatowa oraz wypracowanie skutecznych sposobów zwalczania jej przyczyn i skutków (Tajduś i in. 2006). Ponieważ dotychczas trwające efekty zabezpieczania miasta były mało zadowalające, w 1971 roku do akcji ratunkowej został zaangażowany 25-osobowy specjalistyczny oddział ww. bytomskich górników (Tajduś i in. 2006, Strzelecki i in. 1972-1986).

Badania rozpoznawczo-inwentaryzacyjne prowadzone w czasie obozu naukowego studentów Koła Naukowego „Carbon” i „Górotwór” w 1972 roku pozwoliły rozeznaczyć znaczną część górotworu pod miastem oraz zinwentaryzować uszkodzenia budynków, a także podziemne pustki i zapadliska występujące w podziemiach Opatowa. Uszkodzenia ścian konstrukcyjnych posiadała aż 1/3 budynków, w tym 30 budynków wykazało uszkodzenia średnie lub duże (na 159 budynków analizowanych). Cztery obiekty nowego budownictwa na 27 obiektów wykazały małe uszkodzenia ścian konstrukcyjnych, 30 budynków starego budownictwa (na 132 budynki) wykazało średnie i duże uszkodzenia ścian konstrukcyjnych. Dla 6 obiektów nowego budownictwa stwierdzono obecność wyrobisk podziemnych niższych kondygnacji lub zapadlisk. Zlokalizowano 74 punkty, w których pod budynkami lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie znajdowały się wyrobiska podziemne niższych kondygnacji lub zapadliska, które powstały w wyniku zawałenia się wyrobisk. Zlokalizowano także 8 zapadlisk pod ulicami i placami. Wykonano mapę lokalizacji wyrobisk podziemnych i zapadlisk (Tajduś i in. 2006, Strzelecki, Witosiński 1973).

#### 4.2. Brak odpowiedniego odwodnienia

Problem uporządkowania odwodnienia powierzchniowego stanowiął jeden z równorzędnych co do znaczenia czynników w ogólnym planie akcji ratunkowej. Wody opadowe, nieujęte wodoszczelnymi ściekami i nieodprowadzone odpowiednim systemem kanalizacji do zlewni poza obrębem Starówki wywoływały następujące skutki:

- infiltrację poprzez górotwór do nieznanymi wyrobisk podziemnych, połączoną z upłynnianiem otaczających gruntów, niszczenie tych wyrobisk, a także równoczesne tworzenie na powierzchni zapadlisk zagrażających budynkom i ulicom,
- upłynnianie gruntów pod fundamentami obiektów starego i nowego budownictwa, co prowadziło do nierównomiernego osiadania głównych murów konstrukcyjnych, pęknięcia ścian, a nawet całkowitego niszczenia obiektów.

W trakcie badań inwentaryzacyjnych stwierdzono, że istniejąca sieć kanalizacyjna w 1972 roku w obrębie budynków była przestarzała i wykonana w nieprawidłowy sposób, utrudniając szybkie odprowadzanie wód od budynków. Było to bezpośrednią przyczyną przenikania wód do piwnic, upłynniania gruntów pod fundamentami, uszkodzenia oraz zawilgocenia ścian budynków. Często wody powierzchniowe wypływające z rur spustowych gromadziły się we wgłębieniach terenu, a infiltrując w głąb do wyrobisk podziemnych unosiły materiał tworząc coraz to nowsze pustki, które niekiedy były powodem tworzenia się zapadlisk. Wody te upłynniając także grunty,

w których ułożone były nowe sieci wodno-kanalizacyjne, wymywały na różnych odcinkach materiał podłoża podciągami, co w konsekwencji wywoływało uszkodzenia oraz pęknięcie rur wskutek występowania naprężeń zginających lub ścinających (Strzelecki 1972).

#### 5. Zakres prac badawczo-rozpoznawczych

W celu efektywnego przeprowadzenia akcji ratunkowo-zabezpieczającej należało sporządzić szereg dokumentacji mierniczych oraz geologiczno-inżynierskich umożliwiających jednoznaczne rozeznanie stanu górotworu, a także zlokalizowanie nieznanymi wyrobisk podziemnych. Każdy z badanych rejonów Opatowa posiadał szczegółowy plan prac badawczo-rozpoznawczych opracowany przez zespół naukowy AGH. Na załączonych planach oznaczone były miejsca, w których należało przeprowadzić badania poprzez przebicie obudowy oraz wykonać wiercenia poziome lub ukośne o długości 6–8 m. Naniesione zostały również miejsca, w których należało wykonać pionowe otwory badawcze o długości 6–12 m, uzależnionej od głębokości zalegania spodu danego wyrobiska w odniesieniu do poziomu powierzchni terenu. Układ otworów badawczych dla rejonu zagrożenia rozmieszczony był w liniach rozpoznawczych w odległościach do 3 m, natomiast odległość pomiędzy otworami w tych liniach wynosiła co 1,5 do 2,0 m, która w razie potrzeby była zmniejszana (Strzelecki i zespół 1973a, 1973b, 1973c).

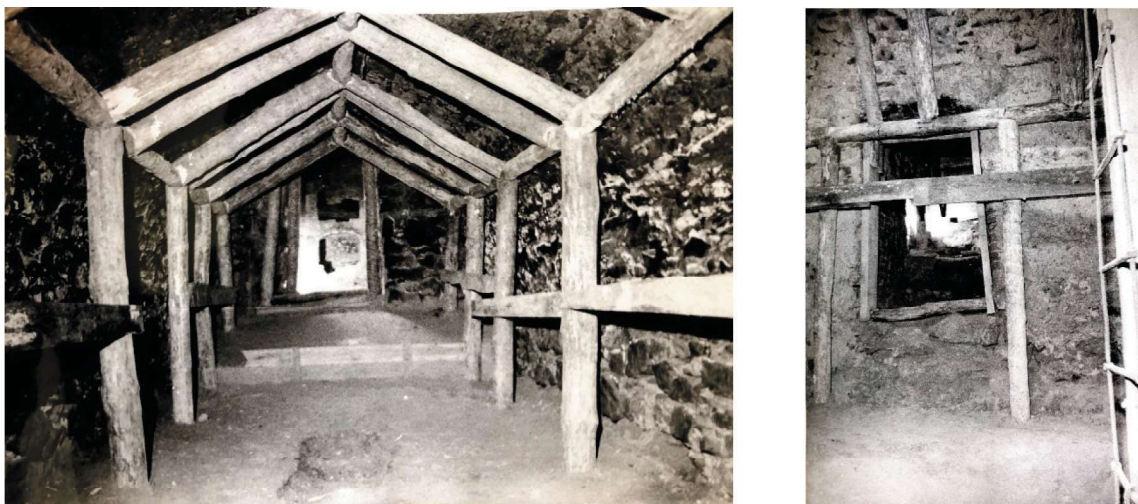
Na podstawie planów sporządzonych przez zespół badawczy, krakowskie przedsiębiorstwo „Geoprojekt” sporządziło szereg inwentaryzacji poszczególnych rejonów Opatowa, które zawierały szczegółowy opis zaobserwowanych uszkodzeń wyrobisk podziemnych z wyszczególnieniem rodzaju gruntu oraz obudowy. Do każdej z inwentaryzacji sporządzono również mapę, na której zaznaczona została: pęknięcia obudowy, obrys wyrobisk podziemnych I i II kondygnacji oraz kierunek przebiegu otworów badawczo-poszukiwawczych, odwierconych przez górników (Geoprojekt 1974a, 1974b, 1974c).

Powyższe prace przygotowawcze pozwoliły określić niezbędne do wykonania prace zabezpieczająco-likwidacyjne.

#### 6. Zakres prac zabezpieczająco-likwidacyjnych podziemi

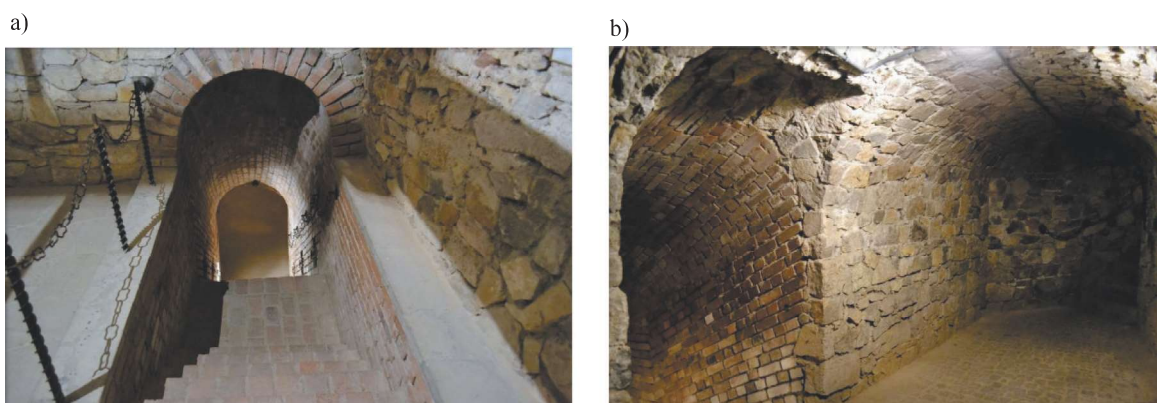
Jednym z podstawowych założeń górniczej akcji ratunkowej na terenie Dzielnicy Staromiejskiej w Opatowie było trwałe zabezpieczenie jej powierzchni, łącznie z nadległymi obiektami mieszkalnymi, zabytkowymi lub użyteczności publicznej, zabezpieczenie ulic, placów i innych niezabudowanych powierzchni przed tworzeniem się zapadlisk, a także ochrona przed uszkodzeniami podziemnych ciągów wodno-kanalizacyjnych. Akcja ta powinna również w sposób trwały zabezpieczyć nowe obiekty, przewidziane do budowy na tym obszarze (Strzelecki i in. 1972).

Długoletnia akcja ratunkowa obejmowała likwidację zbędnych wyrobisk podziemnych i napotkanych pustek wewnątrz górotworu, a także zabezpieczenie podłoża i wyrobisk podziemnych w celu późniejszej budowy podziemnej trasy turystycznej (Mikoś i in. 2013). W przypadku decyzji o zabezpieczeniu danego wyrobiska zakres prowadzonych prac ratunkowych uzależniony był od stopnia zniszczenia jego obudowy (Kohutek, Żak 2006). W sytuacji dużych uszkodzeń obudowy wzmocniana była ona obudową wtórną, wykonywaną odcinkowo z cegły, zwiększając tym samym grubość obudowy. Podczas prowadzenia prac często korzystano z zabezpieczenia w postaci tymczasowej obudowy drewnianej (rys. 1, 2). Natomiast w przypadku zupełnego braku obudowy



Rys. 1. a) chodnik w rejonie ul. Słowackiego 6 w pierwotnej kamiennej obudowie sklepionej, dodatkowo zabezpieczony tymczasową obudową drewnianą typu rozporowego; b) wlot chodnika przebiegającego prostopadle do ul. Słowackiego, końcowy odcinek chodnika biegnie zaledwie 1,0 m pod jezdnią o czynnym ruchu samochodowym (Geoprojekt 1974b)

Fig. 1. a) walkway in the area of ul. Słowackiego 6 in the original stone vaulted casing, additionally secured with a temporary wooden casing of the expansion type; b) the inlet of the pavement running perpendicular to ul. Słowackiego, the final section of the pavement runs just 1.0 m below the roadway with active car traffic (Geoprojekt 1974b)



Rys. 2. a) odnowione zejście schodowe do II kondygnacji piwnic; b) zabezpieczone i odrestaurowane podziemne wyrobisko, fot. A. Marciniak

Fig. 2. a) a renovated staircase to the second floor of the basement; b) secured and restored underground excavation, photo: A. Marciniak

odslonięcia lessowego gruntu zabezpieczano nowym murem z cegły, rzadziej z bloczków betonowych, łączonej zaprawą cementową (Strzelecki i zespół 1973a, 1973b, 1973c).

### 6.1. Materiał podsadzkowy (LC)

Zbędne wyrobiska w postaci szeregu pustek i nieciągłości w górotworze, jak: wyrobiska korytarzowe poziome i ukośne, wyrobiska komorowe, zapadliska powierzchniowe, szybiki, szybiki ślepe, wnęki oraz czasze likwidowano przy zastosowaniu metody podsadzania z użyciem podsadzek lesso-cementowych (Mikoś i in. 2013). Podsadzki te musiały posiadać bardzo mały współczynnik filtracji oraz być nieściśliwe w granicach występujących naprężeń w górotworze. Dodatkowo materiał podsadzkowy musiał być obowiązkowo nierozpuszczalny i nierozmywalny w wodzie, a także łatwo dostępny i tani (Strzelecki i in. 1972).

Podstawowym składnikiem zastosowanej wówczas podsadzki lesso-cementowej używanej do likwidacji zbęd-

nych wyrobisk był naturalny grunt lessowy, eksploatowany z odkrywki w Opatowie. Został on przebadany w Zakładzie Mechaniki Gruntów – P.P. Geoprojekt w Krakowie pod względem własności fizykomechanicznych. Ocenę przydatności tego gruntu do celów podsadzkowych wykonał zespół AGH. Poza podsadzką lesso-cementową badaniom poddano jeszcze 3 inne typy: podsadzkę z czystego lessu, podsadzkę z lessu z dodatkiem szkła wodnego oraz podsadzkę z lessu z dodatkiem szkła wodnego i chlorku wapnia. Z badań wynikało, że ze wszystkich typów jedynie podsadzka lesso-cementowa nie uległa rozmyciu ani rozpadowi – już przy 2% udziale cementu staje się nierozmywalna, nie rozpada się w wodzie i uzyskuje wystarczające parametry wytrzymałościowe. Ten typ podsadzki zalecono do stosowania przy likwidacji pustek (Strzelecki i in. 1972).

W sprawozdaniu okresowym (Strzelecki i zespół 1981), opracowanym w 1981 roku w celu oceny realizacji wdrożonego programu, przedstawiono badania laboratoryjne próbek podsadzek lesso-cementowych pobranych z dna wykopu za-

**Tabela 2. Zestawienie wartości parametrów fizyko-mechanicznych podsadzki lessu-cementowej**  
**Table 2. Comparison of the values of physical and mechanical parameters of the loess cement**

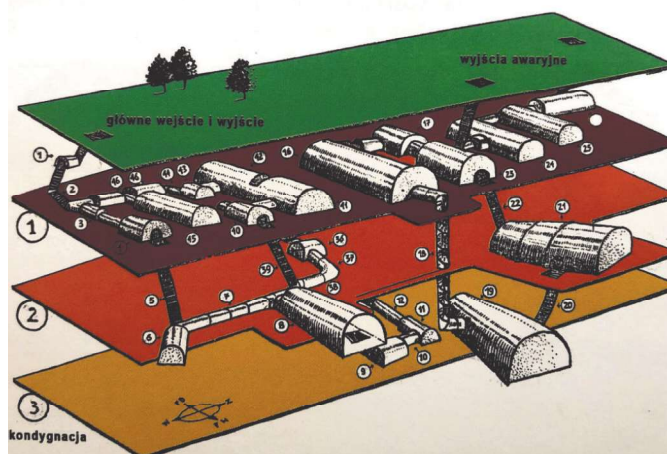
Miejsce pobrania próbki	Ciężar objętościowy $\gamma_{sr}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wytrzymałość na ściskanie $W$ [N/cm <sup>2</sup> ]	Wsp. kohezji $c$ [N/cm <sup>2</sup> ]	Kąt tarcia $\mu$ [°]	Rozpuszczalność w wodzie	Ocena podsadzki
południowo-zachodnia część wykopu	17,54	56,5	27,7	30	bardzo słaba	dobra
południowa część wykopu	17,89	73,5	32,0	36	nierozpuszczalna	dobra
południowo-wschodnia część wykopu	16,91	53,0	26,5	28	bardzo słaba	dobra
północno-wschodnia część wykopu	17,72	64,4	30,7	31	nierozpuszczalna	dobra

bezpieczonego podłoża w rejonie zagrożenia – Plac Obrońców Pokoju 26. Do badań posłużyły próbki z 4 rejonów. Tabela 2 przedstawia zestawienie uśrednionych wartości parametrów fizykomechanicznych dla badanych rejonów. Wszystkie próbki wykazały prawidłowe parametry wytrzymałościowe (Strzelecki i zespół 1981).

## 6.2. Podziemna Trasa Turystyczna jako rodzaj zagospodarowania staromiejskich podziemi

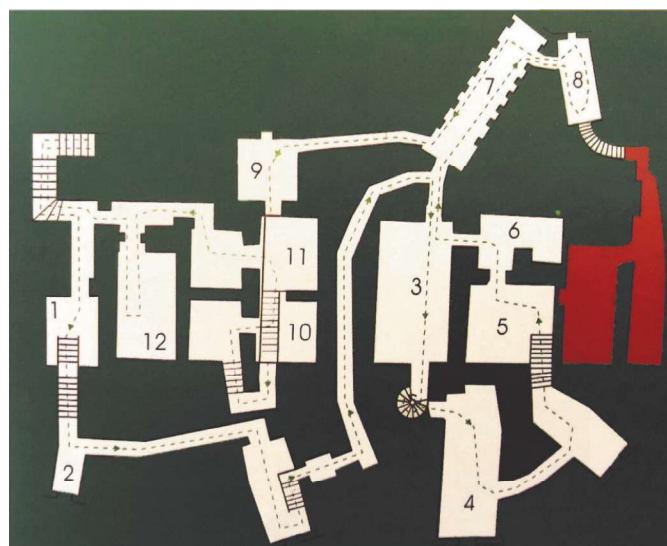
Dla zachowania historycznych śladów przeszłości opatowskich podziemi część wybranych odcinków wyrobisk

podziemnych I, II i III kondygnacji poddano zabezpieczeniu oraz rekonstrukcji i połączeniu w jedną całość, tworząc tym samym podziemną trasę turystyczną (Tajduś i in. 2006). W 1971 roku na Wydziale Górniczym AGH w Krakowie powstał plan zagospodarowania podziemnych wyrobisk i udostępnienia ich zwiedzającym w postaci trasy pod nazwą „Podziemia Opatowskie” (rys. 3 i 4). Opracowano wówczas dwa warianty projektu trasy, jednak po ustaleniach z Urzędem Miasta Opatów oraz przeanalizowaniu kosztów inwestycji wybrano projekt krótszej trasy, generujący znacznie niższe koszty.



Rys. 3. Schemat Podziemnej Trasy Turystycznej (Mikoś i in. 2013)

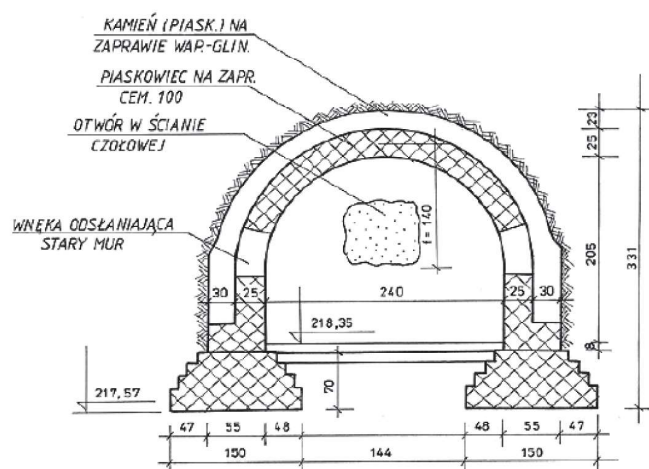
Fig. 3. Scheme of the Underground Tourist Route (Mikoś i in. 2013)



Rys. 4. Plan Podziemnej Trasy Turystycznej; opis komór: 1 – Żmigród, 2 – Mała lessowa, 3 – Górnicza, 4 – Strzelnica, 5 – Partyzancka, 6 – Kupcovej, 7 – Składowa lessowa, 8 – Przechowalnia, 9 – Kupiecka, 10 – Geologiczna, 11 – Izba wystaw staroci, 12 – Zabytki kanclerskiego grodu (Mikoś i in. 2013)

Fig. 4. Plan of the Underground Tourist Route;

Miejscami zachowano oryginalne fragmenty obudowy ceglanej lub kamiennej, jednak w większości wyrobiska korytarzowe i komorowe zostały zabezpieczone i wzmocnione nową obudową z cegieł lub kamienia. Warto zwrócić uwagę na komorę „Składowa lessowa”, w której obudowie widać większe odsłonięcia oryginalnego lessu rodzimego (Kohutek, Żak 2006). Przejścia pomiędzy komorami ozdobiono kamiennymi portalami, natomiast całość trasy zaprojektowano w formie ekspozycji muzealnej (Mikoś i in. 2013). Obudowy wszystkich chodników trasy cechują pionowe ściany ociosowe z łukowymi sklepieniami o zróżnicowanej strzałce. W obudowie komór można także wyszczególnić przyociosowe mury pionowe oraz sklepienia. Różnica pomiędzy komorami a chodnikami polega na dużo większym polu przekroju poprzecznego komór, który sięga nawet 14 m<sup>2</sup> (rys. 5). Wymiary rzutu poziomego największej z nich wynoszą: 5,0 x 9,1 m, wysokość: 3,5 m (Kohutek, Żak 2006).



Rys. 5. Przekrój poprzeczny przez komorę projektu M. Frańczaka (Kohutek, Żak 2006)

Fig. 5. Cross section through the design chamber of M. Frańczak (Kohutek, Żak 2006)

Każda z komór posiada indywidualny wystrój wnętrz. Jedną z nich nazwano komorą „Górnica”, dedykując ją tym samym prof. Z. Strzeleckiemu oraz całemu zespołowi górników zaangażowanych w akcję ratunkową Staromiejskich Dzielnic Opatowa. Podziemna Trasa Turystyczna, udostępniona dla zwiedzających 14 grudnia 1984 roku (a więc 35 lat

temu), stanowi unikatowy przykład architektury podziemnej (rys. 6). Jej całkowita długość wynosi 402 m, a dla turystów udostępniona jest trasa o długości 335 m, w której skład wchodzi 15 komór, 16 dłuższych chodników i krótszych przejść tego samego poziomu oraz 5 między kondygnacyjnych pochylni schodowych. Znajduje się tu również jeden szybik pionowy ze schodami spiralnymi (Baradziej 2004).

## 7. Metoda Z-S (Zalewskiego – Strzeleckiego)

Na przestrzeni kilku lat od rozpoczęcia akcji ratunkowej w Jarosławiu, bazując na zdobytych doświadczeniach podczas prowadzenia prac w Sandomierzu, Kłodzku oraz Opatowie, prof. Z. Strzelecki sukcesywnie uściślał warunki oraz wytyczne zabezpieczania zagrożonych miast (Kohutek, Żak 2006). Dnia 31.01.1974 r. Naczelnik Miasta Opatowa wydał „Zarządzenie nr 1/74” (rys. 7), które obligowało wszystkich uczestników akcji ratunkowej do przestrzegania podstawowych zasad prowadzenia robót w Staromiejskich Dzielnicach Opatowa (Mikoś i in. 2013). Zarządzenie to wyodrębniło ok. 18 ha części miasta, w której prowadzona była akcja ratunkowa, wymuszało dodatkowe zobowiązania dyscyplinujące na inwestorach, projektantach i wykonawcach wszelkiego rodzaju robót, które przyczyniały się do zmian w strefie podłoża gruntowego, a także nakazywało respektowanie wszelkich wytycznych oraz postanowień zespołu badawczego AGH, wliczając w to konieczność przedkładania projektu danego zakresu prac do akceptacji (Mikoś i in. 2013). Pomimo faktu, iż wówczas schemat postępowania podczas wykonywania robót nie był jeszcze określany mianem „metody”, prace były prowadzone zgodnie z jej założeniami i według określonej kolejności postępowania.

Po kilku przeprowadzonych akcjach ratunkowych prof. Z. Strzelecki zdecydował się ująć schemat postępowania przy zabezpieczaniu staromiejskich dzielnic w jednolite ramy, tworząc uporządkowany tok postępowania znany pod nazwą Metody Z-S (Kohutek, Żak 2006). Schemat przedstawia podstawowe elementy Metody Z-S oraz kolejność ich realizacji (rys.8).

## 8. Podsumowanie

Przyczyny zagrożeń zabytkowych dzielnic staromiejskich, nie tylko w Opatowie, ale także w innych miastach, przeważ-

a)

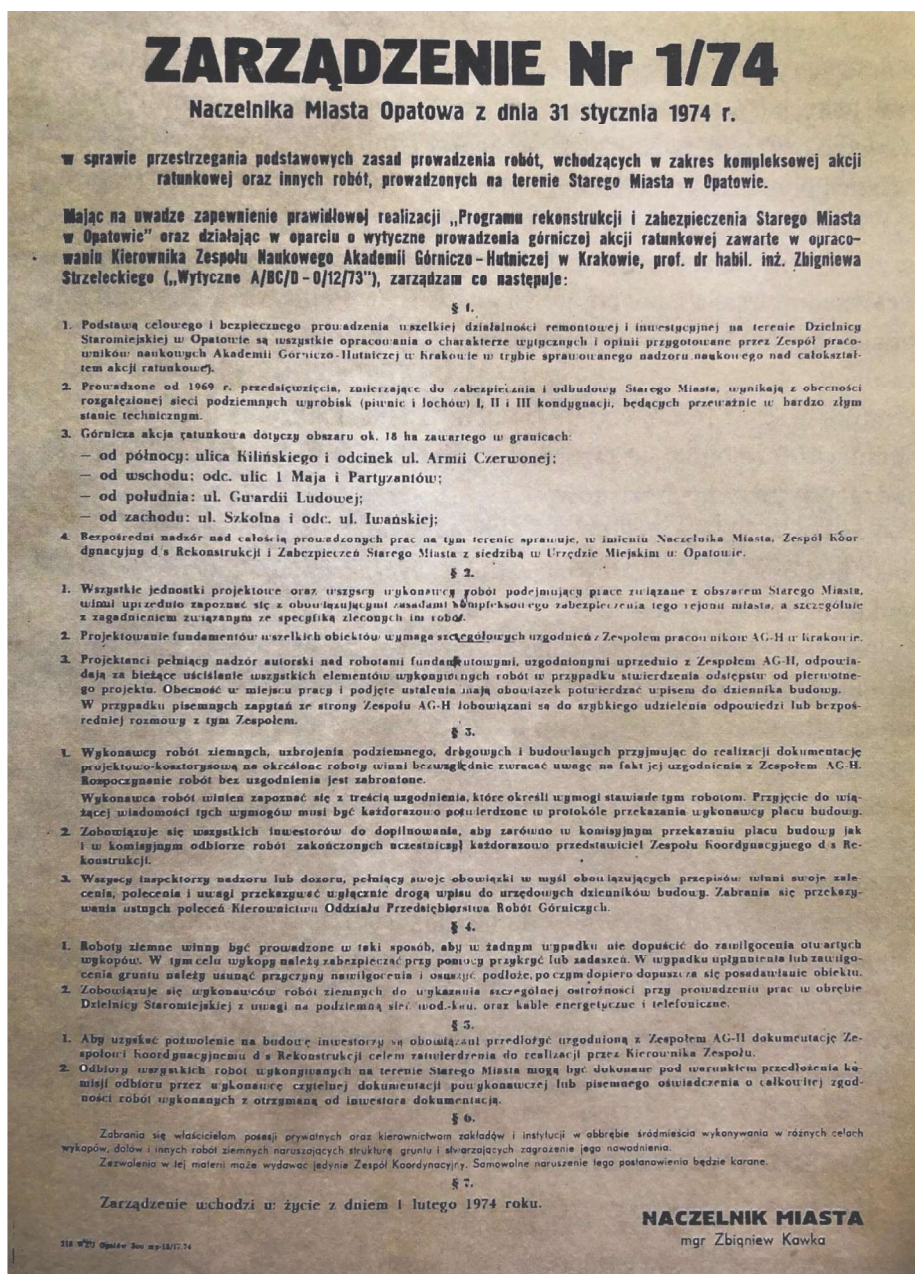


b)



Rys. 6. Odrestaurowane Podziemia Opatowskie: a) przykład zagospodarowania; b) komora „Górnica”, fot. A. Marciniak

Fig. 6. The restored Opatow Underground: a) an example of development; b) „Górnica” chamber, photo: A. Marciniak



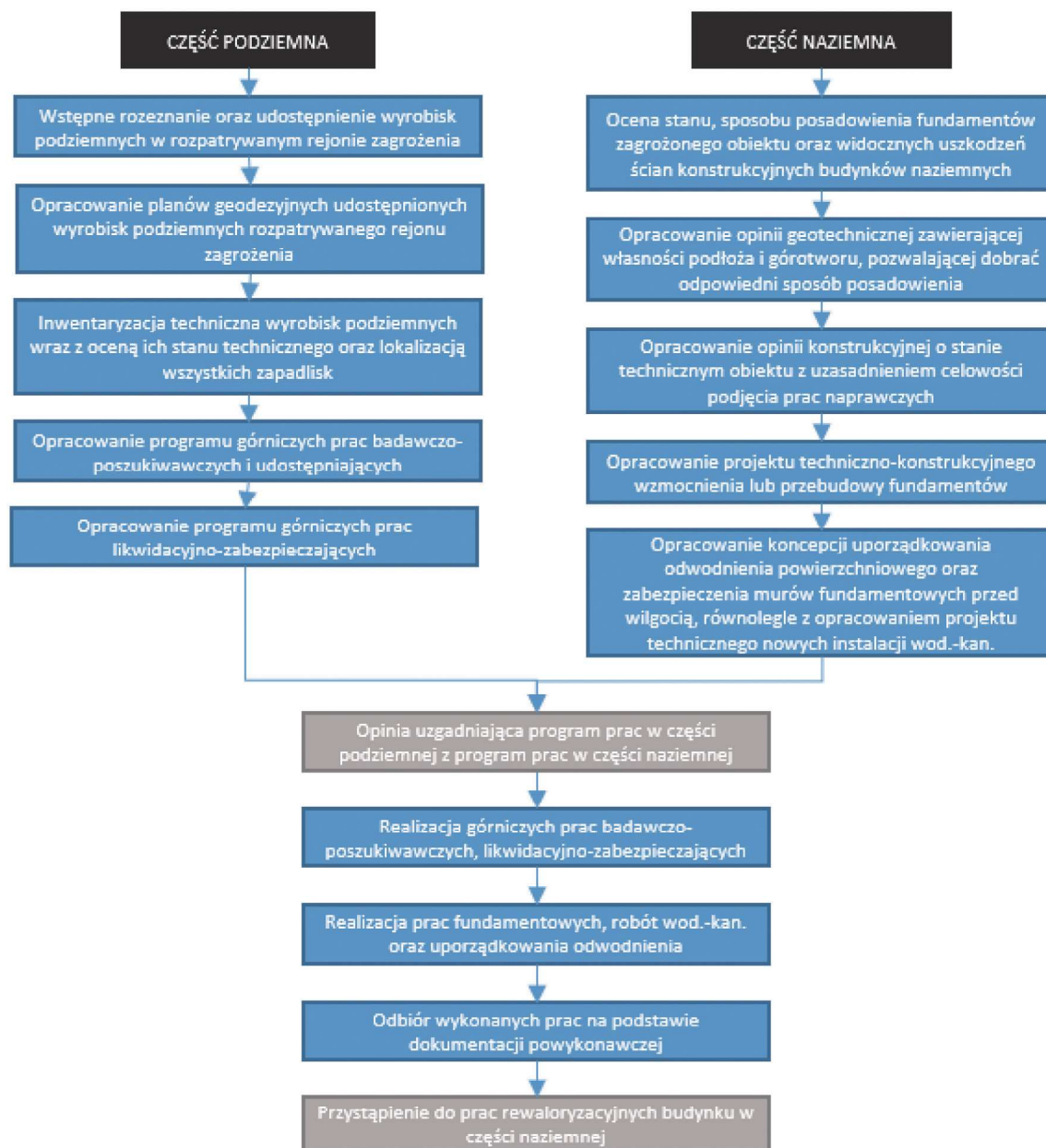
Rys. 7. Zarządzenie nr 1/74 Naczelnika Miasta Opatowa – z archiwum Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH

Fig. 7. Ordinance No. 1/74 of the Governor of Opatów - from the archive of the Department of Geomechanics, Construction and Geotechnics

nie były efektem działalności naszych przodków, polegającej na wykonywaniu kilometrowych i kilkukondygnacyjnych wyrobisk podziemnych w celach zarówno gospodarczych, jak i obronnych. Niestety z upływem lat, z uwagi na brak odpowiednich zabezpieczeń, do wyrobisk przedostawała się woda, która obniżała parametry fizykomechaniczne gruntów lessowych, powodując tym samym powstawanie rozległych, nieciągłych osiadań terenu. Zapadnięcia te z kolei były przyczyną nierównomiernego osiadania fundamentów, co powodowało pęknięcie ścian konstrukcyjnych, a w skrajnych przypadkach nawet całkowite zniszczenie budynków. Koniecznym było podjęcie odpowiednich działań mających na celu ratowanie zabytkowych miast Polski, jak również zapewnienie bezpieczeństwa mieszkańcom.

Podczas prac zabezpieczająco-likwidacyjnych specjalistyczne górnicze brygady pod nadzorem zespołu naukowego AGH zabezpieczały podziemne wyrobiska przy zastosowaniu obudów tymczasowych drewnianych i ostatecznych ceglanych lub kamiennych. Prace te przyczyniły się do dokładnego zbadania i wdrożenia podsadzek lesso-cementowych, jako sposobu likwidacji pustek i zbędnych wyrobisk podziemnych, a także do wymiany podłoża gruntowego pod nowe obiekty. Podsadzki te, składające się z lokalnego gruntu lessowego oraz dodatku cementu w odpowiednich proporcjach, okazały się w wysokim stopniu wodoodporne.

Konieczność wypracowania skutecznej i niezawodnej metody zabezpieczenia staromiejskich podziemi, a także zdobyte doświadczenia przyczyniły się do opracowania ujednoczone-



**Rys. 8. Schemat Metody Z-S (Strzelecki 1986)**  
**Fig. 8. Scheme of the Z-S method (Strzelecki 1986)**

go sposobu postępowania w przypadku akcji ratunkowych staromiejskich dzielnic miast, który nosi nazwę Metody Z-S.

Pozytywne efekty kompleksowego zabezpieczenia podłoża i zabytkowych obiektów obecnie widoczne są już w kilkudziesięciu miastach Polski. Zabezpieczone wyrobiska podziemne oraz zabytkowe obiekty stanowią dziś świadectwo ogromu prac, jaki w tych miastach został wykonany. Wieloletnie doświadczenia procentują coraz lepszymi sposobami zabezpieczania zabytkowych zagrożonych miast oraz innych zabytkowych podziemi i stanowią dowód wszechstronnego podejścia do skomplikowanych i złożonych problemów.

## Literatura

Prace publikowane

CZEKAJOWSKI R., JÓŹKIEWICZ S., ROPSKI S. 1989 - Trzydzieści lat Zespołu Naukowego AGH d/s Zabezpieczania Metodami Górniczymi

i Rewaloryzacji Zabytkowych Dzielnic Staromiejskich. Wydawnictwo AGH, Kraków.

BARADZIEJ M. 2004 - Opatów. Miasto na bursztynowym szlaku.

GROMEK-GATKOWSKA A. 2004 - Dawne dzieje Opatowa – fakty, ludzie, zdarzenia. Wydawnictwo Towarzystwo Przyjaciół Ziemi Opatowskiej, Opatów.

JERSAK J. 1973 - Litologia i stratygrafia lessu wyżyn południowej Polski. Łódź.

KOHUTEK Z., ŻAK S. 2006 - XL rekonstrukcji i rewaloryzacji podziemnej struktury pod starym miastem w Opatowie; Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria, R 30, z. 4.

MIKOŚ T., CHMURA J., TAJDUŚ A. 2013 - Górnicze metody ratowania zabytkowych dzielnic staromiejskich. Wydawnictwa AGH, Kraków.

PTTK Opatów 2012 - Opatów i okolice. Wydawnictwo Świętokrzyskie ELIPSA.

NIEDBAŁA Z. 2015 - Podziemna Trasa Turystyczna w Opatowie. Wydawnictwo Świętokrzyskie ELIPSA.

STRZELECKI Z. 1986 - Metoda Z-S kompleksowego zabezpieczania



- pod względem górniczym i budowlanym zagrożonych zabytkowych miast w Polsce. Wydawnictwo Ministerstwa Gospodarki Komunalnej, Warszawa.
- TAJDUŚ A., MIKOŚ T., CHMURA J. 2006 - Doświadczenia Wydziału Górniczego AGH w Krakowie w zakresie zagospodarowania zabytkowych podziemi. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 117.
- Prace niepublikowane
- STRZELECKI Z. oraz zespół: 1972, 1976, 1978, 1980, 1985, 1986 - Sprawozdanie z postępu prac ratunkowo-zabezpieczających zagrożonych zabytkowych miast w Polsce – Jarosław, Kłodzko, Sandomierz, Opatów.
- STRZELECKI Z., DRZEWIECKI K., ROPSKI S. 1972 - Zabezpieczenie Dzielnicy Staromiejskiej w Opatowie. Wytyczne wykonywania górniczych robót podsadzkowych w wyrobiskach podziemnych, t. 4, Archiwum AGH, Kraków.
- STRZELECKI Z. 1972 - Zabezpieczenie Dzielnicy Staromiejskiej w Opatowie. Wytyczne uporządkowania odwodnienia powierzchniowego oraz zabezpieczenia przed uszkodzeniem odcinków wodociągowo-kanalizacyjnych na obszarze objętym kompleksową akcją ratunkową, t. 6, Archiwum AGH, Kraków.
- STRZELECKI Z. 1972a - Zabezpieczenie Dzielnicy Staromiejskiej w Opatowie. Zasady projektowania obiektów nowego budownictwa w rejonach zagrożonych oddziaływaniem wyrobisk podziemnych, t. 7, Archiwum AGH, Kraków.
- „Geoprojekt” – Kraków 1972 - Inwentaryzacja górniczo-budowlana rejonu zagrożenia: Plac Obrońców Pokoju nr 26. Archiwum AGH, Kraków.
- STRZELECKI Z., WITOSIŃSKI J. oraz studenci Obozu Naukowego „Opatów – 72” 1973 - Zabezpieczanie Dzielnicy Staromiejskiej. Aktualne zagrożenie Dzielnicy Staromiejskiej w oparciu o wyniki prac obozu naukowego studentów z AGH. Koło Naukowe Carbon i Górotwór. Archiwum AGH, Kraków.
- STRZELECKI Z. i Zespół 1973a - Programowanie robót górniczych dla rejonu zagrożenia: Plac Obrońców Pokoju nr 24. Archiwum AGH, Opatów/Kraków.
- STRZELECKI Z. i zespół 1973b - Programowanie robót górniczych dla rejonu zagrożenia: Plac Obrońców Pokoju nr 28. Archiwum AGH, Opatów/Kraków.
- STRZELECKI Z. i zespół 1973c - Programowanie robót górniczych dla rejonu zagrożenia: Plac Obrońców Pokoju nr 30, 32 i 34 oraz ul. T. Kościuszki 2, 4. Archiwum AGH, Opatów/Kraków.
- „Geoprojekt” – Kraków 1974a - Inwentaryzacja górniczo-budowlana rejonu zagrożenia: Plac Obrońców Pokoju nr 33. Archiwum AGH, Kraków.
- „Geoprojekt” – Kraków 1974b - Inwentaryzacja górniczo-budowlana rejonu zagrożenia: ul. Słowackiego 6. Archiwum AGH, Kraków.
- „Geoprojekt” – Kraków 1974c - Inwentaryzacja górniczo-budowlana rejonu zagrożenia: ul. Słowackiego 1. Archiwum AGH, Kraków.
- STRZELECKI Z. 1985 - Kompleksowe zabezpieczenie pod względem górniczym i budowlanym zagrożonych zabytkowych miast w Polsce. Referat na III Krajową Konferencję pt.: „Infrastruktura podziemia miast”. Archiwum AGH, Wrocław.
- STRZELECKI Z. i zespół 1981 - Sprawozdanie okresowe D/81 – 210: ocena realizacji wdrożonego programu, wnioski i zalecenia. Archiwum AGH, Kraków.
- [www.opatow.fotopolska.eu](http://www.opatow.fotopolska.eu) – dostęp 25.01.2019

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2019  
Artykuł akceptowano do druku – marzec 2019