

*Stefan Galczyński\**

## PRZYKŁADY STATECZNOŚCI WYROBISK TUNELOWYCH W ŚWIETLE TEORII ICH PRZYSTOSOWANIA DO GÓROTWORU

---

### 1. Wstęp

W inżynierii w ogóle, a w geoinżynierii w szczególności, oprócz kanonów mechaniki opisujących ciągłe ośrodki lub prętowe układy nośne niezwykle ważnym czynnikiem technicznym jest możliwość naturalnego przystosowania ośrodka bądź układu do zmieniających się warunków zalegania górotworu. Sam proces przystosowania na ogół rozpoczyna się wraz z przystąpieniem do robót geoinżynierskich, które z reguły naruszają pierwotny stan zalegania zarówno masywów gruntowych jak i skalnych, a szczególnie wówczas, gdy mamy do czynienia z masowymi robotami ziemnymi (odkrywkowymi) albo podziemnymi. Następuje wzajemna racjonalizacja układu nośnego i jego materialnego otoczenia, zwana współpracą układu: obudowa – górotwór [5]. Jaskrawym przykładem takiego procesu jest niezwykle złożony i zróżnicowany przebieg osiadania nadkładu nad wyrobiskami związanymi z podziemną eksploatacją górnictwem [4].

Ogrom zgromadzonych dotychczas opisów hipotez i rozwiązań prezentujących liczne aspekty zarejestrowanych zjawisk, które zachodzą w naruszonym górotworze, traci niestety swoją przejrzystość, a przede wszystkim wiarygodność w konkretnej, praktycznej działalności inżynierskiej. Ma to szczególne znaczenie w geoinżynierii, kiedy mamy do czynienia z niezwykle zmiennością, zarówno w czasie jak i w przestrzeni, różnych parametrów górotworu jako środowiska bądź materiału konstrukcyjnego. Dodatkowym utrudnieniem jest na ogół mały stopień rozpoznania tych parametrów ze względu na wysokie koszty i bardzo dużą czasochłonność ich badań, szczególnie badań terenowych.

Bardziej szczegółowo praktyczne problemy teorii przystosowania przeanalizujemy na trzech dość klasycznych przykładach długowiecznych wyrobisk podziemnych. W każdym z nich jest zawarta swoista filozofia techniczno-praktyczna konstrukcji podziemnych.

---

\* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

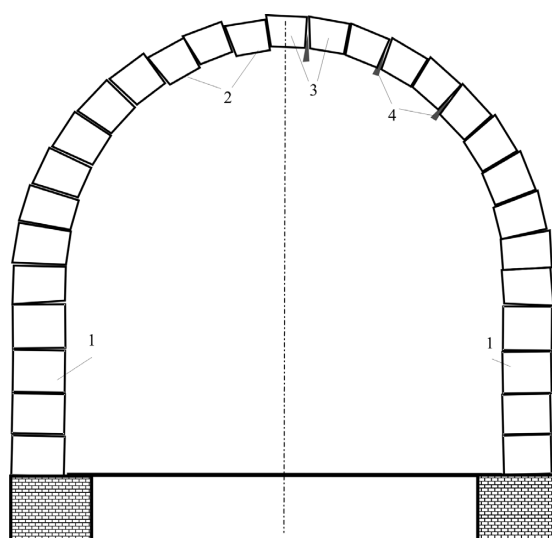
## 2. Historia tuneli kolejowych na Dolnym Śląsku

Dolnośląskie tunele kolejowe były zbudowane na przełomie XIX i XX wieku w okresie administracji niemieckiej. Drażone metodami podziemnymi tunele zostały obudowane blokami kamiennymi tworzącymi sklepienia złożone z przylegających do siebie łuków. Zespojone ze sobą bloki tworzyły więc ciągłą konstrukcję podziemną — obudowę nośną (rys. 1) [2].

Niestety już po 20.–30. latach eksploatacji tuneli ich obudowa uległa wyraźnej degradacji. Sklepienia utraciły ciągłość na skutek zwietrzenia zaprawy łączącej bloki skalne.

Przyczyniły się do tego głównie cztery czynniki:

- niska klasa spoiwa w zaprawie wiążącej bloki kamienne,
- przenikanie dymu parowozów do zaprawy wyraźnie przyspieszające jej wietrzenie,
- intensywne zawilgocenie i przemarzanie niektórych fragmentów obudowy,
- wykruszanie się zdegradowanej zaprawy ze spoin, szczególnie w stropie obudowy.



Rys. 1. Zdegradowana kamienna obudowa dolnośląskich tuneli kolejowych:

1 — zespojone zaprawą bloki kamienne, 2 — bloki obluzowane,

3 — bloki zaklinowane, 4 — kliny drewniane

Degradacja i ubytki zaprawy w spoinach spowodowały wyraźne upodatkowanie obudowy i duży przyrost jej przemieszczeń, zdecydowanie niesprężystych. Między innymi w czasie kapitalnego remontu tunelu w Bardzie Śląskim stwierdzono wyraźne zaciskanie lub rozwarcie spoin oraz wzajemne, nieregularne, nieciągłe dyslokacje poszczególnych kamieni.

Niemieckie służby nadzoru kolejowego w drugiej połowie lat trzydziestych ubiegłego wieku podjęły decyzję o potrzebie przywrócenia ciągłości obudowy tuneli i przystąpiły do

jej przebudowy. W jednym z dwóch tuneli jednotorowych w Świerkach na dwutorowym szlaku Wałbrzych – Kłodzko zastąpiono fragment obudowy kamiennej obudową z cegły klinkierowej. Z uwagi na II wojnę światową prace przerwano i dopiero po 20 latach polska administracja kolejowa musiała powrócić do tego problemu, ale już w bardziej szeroko zakrojonym zakresie technicznym.

### **2.1. Problemy wytrzymałościowe obudowy tuneli dolnośląskich**

W połowie lat 50. w tunelach pojawiły się pierwsze zagrożenia bezpieczeństwa ruchu pociągów. Nadmiernie obłuzowane bloki kamienne groziły obwałami. Ich upadek na tory byłby bezpośrednim zagrożeniem tego ruchu, co gorsza, rozpocząłby proces degradacji obudowy zapowiadający jej nieunikniony zawał, a więc katastrofę budowlaną. Stwierdzono też, że przebudowany przez Niemców odcinek tunelu w Świerkach również uległ całkowitej degradacji. Z muru ceglanego odpadło szkliwo klinkieru i rozpoczął się przyspieszony proces jego wietrzenia. Niemiecka idea przebudowy tuneli i przywrócenia im obudowie charakteru układu ciągłego utraciła więc swoją aktualność.

Zagadnieniem dolnośląskich tuneli kolejowych, pół wieku temu, zajął się Centralny Ośrodek Naukowo-Badawczy Kolei w Warszawie. Ośrodek sformułował roboczy temat naukowy: „Co zrobić z tunelami kolejowymi na Dolnym Śląsku” i wysłał swego pracownika na studia doktoranckie do Sanki Petersburga do Leningradzkiego Instytutu Transportu Kolejowego. Służbom drogowym kolei zalecił zaś tymczasowe, bieżące zabezpieczanie bloków obudowy kamiennej przed ich wypadaniem.

### **2.2. Tymczasowe zabezpieczenie obudowy kamiennej**

Jako tymczasowe zabezpieczenie poszczególnych kamieni przed wypadaniem kolejarzy stosowali kliny drewniane wbijane w rozwierające się fugi zdegradowanego muru (rys. 1). W ten sposób kamienie były skutecznie blokowane przed wypadaniem a cała obudowa przed zawałem. Okazało się, że ten dość prymitywny, o tymczasowym charakterze zabieg techniczny jest dostatecznie skuteczny i może być powtarzany wielokrotnie w każdym pojawiającym się punkcie zagrożenia bezpieczeństwa tuneli. Procedura wymagała jedynie ciągłego, efektywnego monitoringu, aby nie dopuścić do niekontrolowanych, awaryjnych uszkodzeń obudowy, jej postępującej dewastacji kinematycznej.

Mimo dużego dyskomfortu tymczasowe rozwiązanie, jak to często bywa, nabrało cech stałej metody zabezpieczenia dolnośląskich tuneli. Tym bardziej, że pracownik Ośrodka Naukowo-Badawczego Kolei pracę doktorską obronił, ale na zupełnie inny temat, a problem obudowy tuneli nie został naukowo rozwiązany do dziś. W tej sytuacji warto więc podjąć próbę teoretycznego wyjaśnienia fenomenu tuneli, które są zagrożone awarią od, co najmniej, 70. lat ich eksploatacji. Ich obudowa utraciła swoją pierwotną ciągłość i nośność, a mimo to nadal skutecznie spełnia rolę konstrukcji nośnej. Należy ujawnić te czynniki obudowy i obciążającego ją górotworu, które sprzyjają ich wzajemnemu przystosowaniu i zachowaniu stateczności wyrobisk tunelowych [3].

### **3. Problem Centrum Dowodzenia Przeciwatomowego**

W wyjściowym założeniu centrum przeciwatomowe powinno być trwałym, bezpiecznym i odpornym na działania wojenne kompleksem ukrytych wyrobisk podziemnych. Wyrobiska zlokalizowano więc w starannie wybranym, najlepszym z najlepszych, masywów skalnych. Jednorodny zwięzły masyw o bardzo dużej wytrzymałości zarówno na ściskanie jak i rozciąganie miał zapewnić pracę statyczną projektowanego układu nośnego w przedziale naprężeń sprężystych i to nawet w przypadku obciążeń dynamicznych wywołanych wybuchem ładunku atomowego. Szczegółowe obliczenia, oparte na teorii ośrodków lub prętowych układów ciągłych w pełni potwierdziły słuszność zaproponowanych rozwiązań projektowych [1].

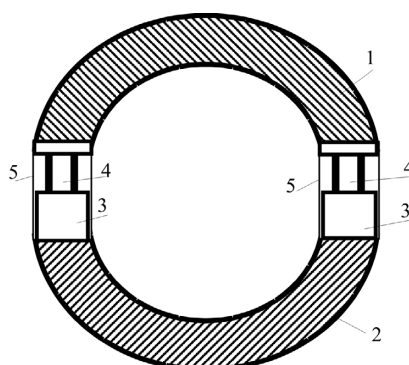
Potwierdziły się również przyjęte założenia w czasie wykonywania pierwszych wyrobisk peryferyjnych związanych z udostępnieniem i obsługą głównego schronu dowodzenia — obszerną salą operacyjną zlokalizowaną w głębi masywu. Oczekiwano, że najważniejsze wyrobiska znajdą się, zgodnie z przewidywaniami, w najbardziej stabilnej części masywu. Okazało się jednak, że po przystąpieniu do drażenia głównych wyrobisk górotwór wyraźnie odbiega od założeń ośrodka ciągłego. Pojawiły się spękania, lokalne obwały a nawet nieciągłe dyslokacje górotworu. Wystąpiła konieczność natychmiastowego konstrukcyjnego zabezpieczenia wyrobiska. Problem nie został jednak do końca jednoznacznie rozwiązany.

Rozpoczęły się różnowątkowe dyskusje przede wszystkim w sprawie rzeczywistych przyczyn naruszenia pierwotnej struktury górotworu. Według jednych poglądów niewłaściwie rozpoznano masyw i nie wykryto już istniejących nieciągłości w głębi masywu, inni uznali, że przyjęte metody obliczeniowe nie spełniły oczekiwań, a naruszenie górotworu było następstwem wykonanych wcześniej wyrobisk pomocniczych. Rozstrzygnięcie problemu nie jest łatwe, bo nie wiadomo czy rozbudowany układ nośny będzie zdolny do przystosowania się do późniejszych warunków jego pracy statycznej, a zwłaszcza do obciążeń dynamicznych wywołanych ewentualnymi działaniami wojennymi lub terrorystycznymi. Nieprzystosowanie układu grozi jego zawaleniem, nieprzewidywalną w skutkach katastrofą w rodzaju tąpnięcia całego układu wyrobisk.

### **4. Tunel cyklotronu Europejskiego Ośrodka Badań Jądrowych**

Kołowy w planie tunel o długości 27 km jest szczególnie odpowiedzialnym obiektem podziemnym i musi spełniać wszystkie techniczne warunki jego niezawodności. Na twórcach tunelu spoczywała więc bardzo duża odpowiedzialność zarówno w sensie materialnym, ze względu na kosztowne jego wyposażenie, jak i z powodów społecznych, z uwagi na wysokie kwalifikacje naukowe zespołu badawczego. Zaprojektowano i wykonano unikalną obudowę podatną z samoczynną regulacją jej stanu wyężenia. Jej graniczną nośność przystosowano do stałego niekonserwatywnego obciążenia, czyli do deformacyjnego ciśnienia górotworu. Stabilizację tego ciśnienia zapewnia sterowane osiadanie i odprężenie stropu wyrobiska [3].

Kołowy poprzeczny przekrój obudowy tunelu składa się z dwóch sklepień sztywnych — stropowego i spągowego — rozdzielonych podatną ścianą utworzoną z lewarów hydraulicznych (rys. 2). Po wykonaniu segmentu spągowego sklepienia na jego ścianach ustawiono szereg lewarów w wyjściowej pozycji roboczej, czyli z maksymalnie wysuniętymi tłokami roboczymi i ciśnieniem cieczy, które nie przekraczało dopuszczalnej nośności sklepień obudowy. Z kolei, na głowicach tłoków oparto sklepienie stropowe, a ściany lewarów obudowano wiotkimi osłonami. Tak skonstruowana obudowa tworzy ustrój w pełni niezawodny, zdolny do samoprzystosowania do obciążeń niekonserwatywnych.



**Rys. 2.** Obudowa tunelu cyklotronu: 1 — sklepienie stropowe, 2 — sklepienie spągowe, 3 — lewar hydrauliczny, 4 — tłok roboczy, 5 — ściana osłonowa

W momencie jakiegokolwiek przeciążenia obudowy w lewarach otwierają się zawory bezpieczeństwa powodując wypływ oleju, spada ciśnienie, a następnie osiada jej sklepienie stropowe. Uruchamia się proces przystosowania — odciążenie tunelu i ponowna stabilizacja całego układu na dopuszczalnym poziomie jego nośności. Omawiana konstrukcja jest niewątpliwie klasycznym przykładem układu zdolnego do samoczynnego przystosowania się do obciążeń niekonserwatywnych. Jest zbudowana z elementów liniowo-sprężystych, które mogą się odkształcać jako typowe konstrukcje podatne na wzór podatnych obudów górniczych — kroczącej obudowy hydraulicznej.

## 5. Wnioski ogólne

Z opisanych trzech przypadków wyrobisk tunelowych wynikają następujące uogólnione wnioski o charakterze teoretycznym:

- 1) Wyczerpanie granicznej nośności układów geoinżynierskich, czyli ich awaria występuje w dwóch postaciach jako:
  - gwałtowne masowe zdarzenie (tąpnięcie, lawina), podczas którego rozprasza się nieskończenie duży potencjał energii tego układu ( $E_p \approx \infty$ ),

- rozciągnięty w czasie i przestrzeni proces (powtarzających się obwałów lub osuwisk), który może się zakończyć awarią, ale przy małym potencjale energii ( $E_p \ll \infty$ ) może też ulec przystosowaniu i utworzyć nowy, stabilny układ nośny [5].
- 2) W ciągłych nienaruszonych ośrodkach materialnych lub układach nośnych obowiązuje zasada jedności i odwracalności kanonów:

- stanu naprężenia  $\leftrightarrow$  związków konstytutywnych (fizycznych)  $\leftrightarrow$  stanu odkształcenia •

W lokalnie naruszonych ośrodkach (górotworze) bądź układach nośnych następuje albo awaria (tąpnięcie, lawina) albo przystosowanie i ukształtowanie się racjonalnego układu nośnego według bardziej ogólnej zasady:

- degradacja ośrodka (górotworu) lub układu nośnego  $\rightarrow$  proces przystosowania  $\rightarrow$  redystrybucja naprężeń (sił wewnętrznych) w racjonalnym nowym układzie nośnym •

W masywie skalnym bądź gruntowym racjonalnym układem nośnym jest paraboliczne lub eliptyczne (kołowe) sklepienie ciśnień z podatnymi podporami. Również mogą się tworzyć eliptyczne i kołowe sklepienia zamknięte wokół wyrobisk podziemnych na wzór podwodnych jednostek pływających [3].

- 3) Identyfikacja procesów degradacji górotworu, jego przystosowania jako materiału konstrukcyjnego i redystrybucji sił wewnętrznych formującego się układu nośnego będzie możliwa tylko po zastosowaniu bieżącego monitoringu w sąsiedztwie prowadzonych robót geoinżynierskich. Analiza wyników pomiarów i obserwacji umożliwi nie tylko wiarygodne rozpoznanie procesu przystosowania, ale także sterowanie jego przebiegiem poprzez zastosowanie właściwych, ekonomicznie uzasadnionych zabiegów technicznych. Takim zabiegiem było niewątpliwie klinowanie bloków kamiennych obudowy dolnośląskich tuneli, co umożliwiło zwanie tych bloków na wzór starożytnych murów niespoinowanych. Właściwą nośność obudowy gwarantuje duża wytrzymałość muru na mimośrodowe ściskanie i podwyższone tarcie na stykach zaciśniętych bloków obudowy. Rozgniecione i spróchniałe resztki klinów drewnianych pozostają świadectwem przebiegu procesu przystosowania obudowy do nowych warunków pracy statycznej — powstania nowego, racjonalnego układu nośnego.

#### LITERATURA

- [1] *Bieniawski Z.T.*: Analytical Modeling as a Geomechanics Aid for Mine Design Applications in the U.S.A. ref. na M. B. M. G., Gliwice, 1981
- [2] *Galczyński S., Gierwielanec J., Sztuk T.*: Opracowanie na temat stanu tunelu kolejowego w Świerkach, 1966, maszynopis
- [3] *Galczyński S., Wojtaszek A.*: Teoretyczna analiza mechanizmu przystosowania stateczności wyrobisk tunelowych, XXXII ZSMGiG, 2009, w materiałach
- [4] *Kłeczek Z.*: Geomechanika górnicza. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1994
- [5] *Żukowski S.*: Ocena bezpieczeństwa płaskich konstrukcji prętowych w aspekcie teorii przystosowania, Ofic. Wyd. PWR, Wrocław, 2006