

*Karol Ryż**

WZMOCNIENIE KAMIENNEGO SKLEPIENIA TUNELU KOLEJOWEGO ZA POMOCĄ WSPÓŁPRACUJĄCEJ POWŁOKI WYKONANEJ ZE STALOWYCH, FALISTYCH PANELI CYLINDRYCZNYCH I BETONU SAMOZAGĘSZCZALNEGO

1. Wprowadzenie

Tunele kolejowe w Polsce pochodzą na ogół z XIX wieku. Stan techniczny tych obiektów po około 100 latach użytkowania budzi poważne zastrzeżenia, stwarzając liczne zagrożenia dla bezpiecznej eksploatacji. W większości tunele te kwalifikują się do kapitalnych remontów i modernizacji, a zdarzające się awarie dowodzą, że ta potrzeba jest pilna. Awaria tunelu kolejowego w Kamionce Wielkiej (rys. 1) potwierdza przedstawioną diagnozę.



Rys. 1. Portal i wjazd do tunelu w Kamionce Wielkiej od strony Tarnowa. Widok ogólny

* Katedra Budowy Mostów i Tuneli, Politechnika Krakowska, Kraków

Podjęmowane w ostatnich latach działania, zarówno ekspertyzowo-projektowe, jak i remontowo-modernizacyjne, w odniesieniu do tuneli w Żegiestowie [1, 2, 3], w Tunelu [4], w Kamionce Wielkiej [5] i innych, są na ogół niewspółmierne do występujących potrzeb i zagrożeń. W prognozach inwestycyjnych należy pamiętać, że oprócz konieczności zapewnienia tym budowlom komunikacyjnym zadowalającego stanu technicznego, konieczne jest również dostosowanie ich do współczesnych standardów bezpieczeństwa i komfortu eksploatacyjnego.

Tunel kolejowy w Kamionce Wielkiej (rys. 1) zlokalizowany jest w ciągu linii kolejowej Tarnów – Leluchów. Linia ta stanowi główne połączenie Polski ze Słowacją, a zarazem z południem Europy dla południowo-wschodniej części naszego kraju. Połączenie alternatywne podobnej lub lepszej klasy nie jest obecnie realizowane, w związku z tym znaczenie przedmiotowej linii i tunelu w kolejowym układzie komunikacyjnym jest bardzo ważne.

Strefa wlotowa tunelu od strony Tarnowa znalazła się w stanie awaryjnym wskutek wybrzuszenia sklepienia, połączonego z pęknięciem ciosów na długości kilku metrów. Pojawiło się realne ryzyko zawalenia obudowy i zawału. Ponadto postępuje proces oddzielania się konstrukcji portalu od obudowy tunelu oraz występuje zagrożenie wypadania rozluźnionych ciosów kamiennych ze sklepienia.

Doraźne wzmocnienie i zabezpieczenie sklepienia w segmencie z wybrzuszeniem realizowane jest za pomocą sukcesywnie instalowanych odrzwi stalowych. Wzmocnienie docelowe, obejmujące odcinek około 30 m wraz z portalem, wykonane jest w postaci stalowej powłoki z falistych paneli cylindrycznych w części stropowej oraz przyczółków żelbetowych w częściach ociosowych. Zespolenie powłoki z istniejącym sklepieniem kamiennym osiągnięte jest dzięki warstwie samozagęszczalnego betonu, układanego w szczelinie między powłoką i obudową.

Przedstawiona w pracy technologia wzmocnienia i zabezpieczania obudowy tunelu stała się realna w praktycznym zastosowaniu dzięki upowszechnieniu w polskim budownictwie komunikacyjnym konstrukcji ze stalowych paneli falistych oraz samozagęszczalnych mieszanek betonowych. Opisany sposób wzmocnienia i zabezpieczania tunelu nawiązuje do najnowszych osiągnięć w tej dziedzinie w zaawansowanych technologicznie krajach.

2. Konstrukcja istniejącej obudowy tunelu

Tunel kolejowy w Kamionce Wielkiej wybudowany został pod koniec XIX wieku. Podobnie jak większość tuneli kolejowych w Polsce pochodzących z tamtego okresu, był wyznaczony w partiach wlotowych podczas działań wojennych. W związku z tym konstrukcja obudowy tunelu nie jest jednolita, a grunty i górotwór zalegające nad obiektem mają zmienioną w stosunku do pierwotnej strukturę.

W części wewnętrznej tunel ma obudowę wykonaną w całości z ciosów kamiennych (piaskowiec pochodzi prawdopodobnie z pobliskiego złoża zlokalizowanego w górze, przez którą przebiega tunel). Część wlotowa tunelu po stronie Tarnowa (rys. 1), odbudowana po zniszczeniach wojennych, ma nieco odmienny układ konstrukcyjny od starszej, wewnętrznej części budowli. Zastosowana tutaj obudowa składa się z przyczółków betonowych i sklepienia kamiennego. Obudowa ta została podzielona na niezależnie pracujące segmenty, oddzielone od siebie przerwami dylatacyjnymi, biegnącymi na całym obwodzie.

Pierwotnie tunel był przeznaczony dla linii dwutorowej z trakcją parową. Obecnie w tunelu zlokalizowana jest linia jednotorowa, zelektryfikowana.

Długość tunelu pomiędzy ścianami czołowymi — portalami wynosi około 180 m, tak więc obiekt ten zalicza się do średnich tuneli kolejowych w Polsce. Tunel w planie ma geometrię zakrzywioną (łuk poziomy o promieniu ok. 252 m). Podłużny spadek obudowy wynosi ok. 18‰, co daje różnicę poziomów sklepienia w przekrojach portalowych $\Delta h = 3,33$ m. W przekroju poprzecznym, jak pokazały szczegółowe pomiary inwentaryzacyjne (rys. 3), tunel ma kształt kołowy o promieniu $R = 4,36$ m i wykazuje korzystnie pewne rezerwy w zakresie obowiązującej obecnie skrajni budowl.

3. Aktualny stan techniczny tunelu

Stwierdzony w chwili obecnej stan techniczny tunelu, w odniesieniu do całości obudowy, wskazuje na liczne zagrożenia charakteryzujące się znacznym ryzykiem ich pojawiania się podczas normalnej eksploatacji obiektu. Lokalnie fragment wlotowy tunelu od strony Tarnowa znajduje się w stanie awaryjnym, wymagającym natychmiastowych działań.

3.1. Stan awaryjny sklepienia

Sklepienie obudowy tunelu w części wlotowej po stronie Tarnowa wykazuje liczne uszkodzenia, a w obrębie segmentu III nastąpiło jego wybrzuszenie i pęknięcie (rys. 2 i 3), które grozi oberwaniem i naruszeniem stateczności układu obudowa-górotwór.

a)

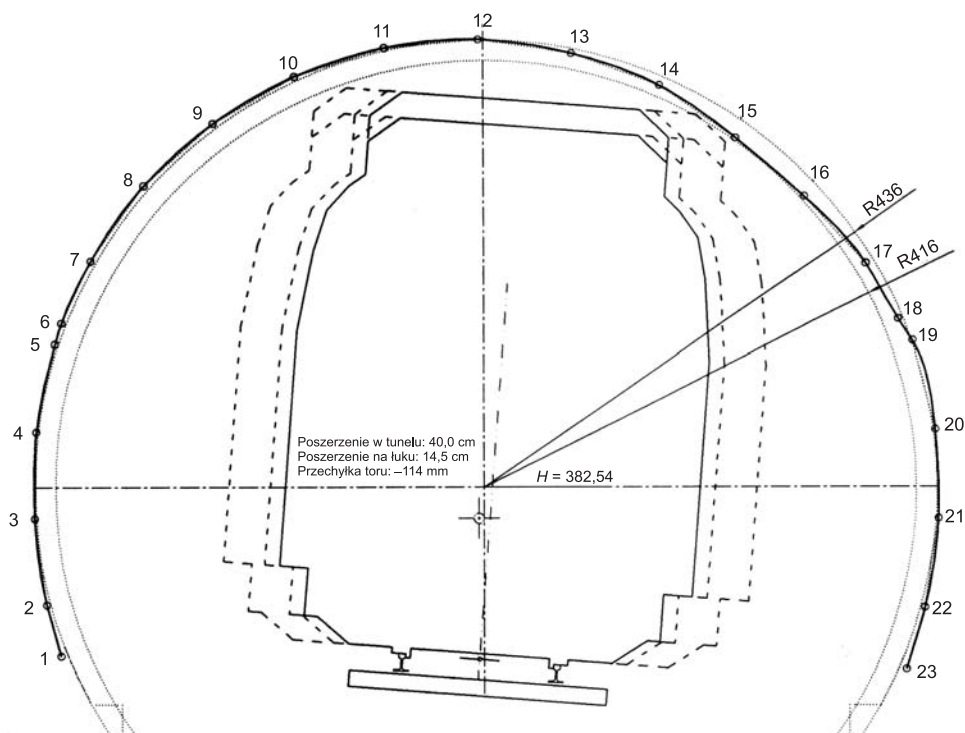


b)



Rys. 2. Konstrukcja drewniana doraźnie podpierająca i zabezpieczająca uszkodzone sklepienie w miejscu awarii (segment III): a) widok od strony wnętrza tunelu; b) widok od strony portalu wlotowego (Tarnów)

Pęknięcie rozpoczyna się po stronie prawej (patrząc zgodnie z kilometrażem) nad przyczółkiem i stopniowo wnika w głąb sklepienia (rys. 2b). Uszkodzenie to ujawniło się wyraźnie na przełomie 2003 i 2004 roku. Obejmuje ono praktycznie całą długość segmentu III. W związku z zaistniałym poważnym zagrożeniem sklepienie zostało podparte tymczasową konstrukcją drewnianą (rys. 2) i podlega systematycznej obserwacji.

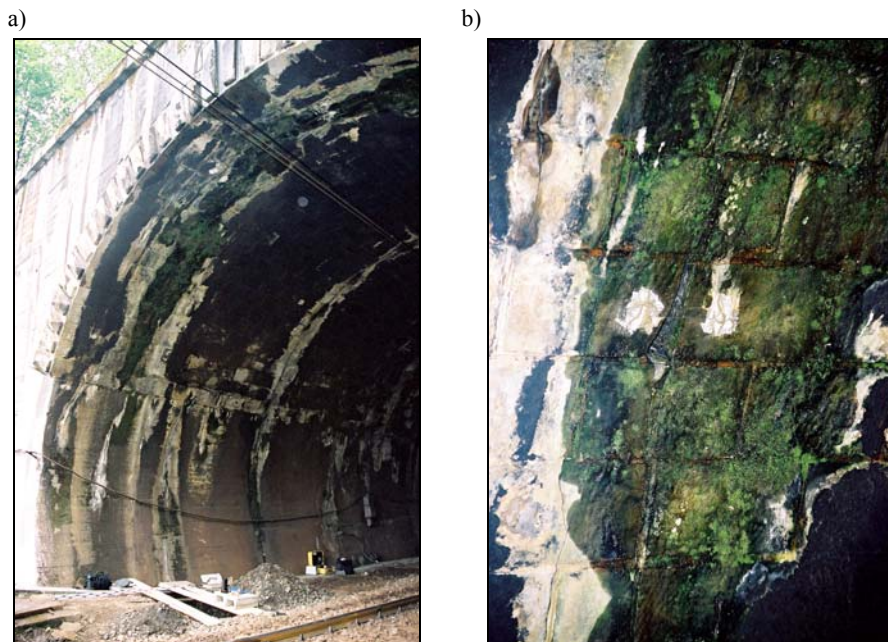


Rys. 3. Kontur obudowy tunelu z lokalnym wybrzuszeniem sklepienia w miejscu awarii wg pomiarów inwentaryzacyjnych. Oszacowana maksymalna strzałka wybrzuszenia sklepienia $f = 16,5$ cm. Pokazano punkty identyfikujące aktualną geometrię obudowy, okrąg aproksymujący pierwotną geometrię oraz poszerzoną skrajnię budowli linii kolejowej

3.2. Uszkodzenia portalu tunelu

W segmencie I (rys. 4a) pojawiły się pęknięcia sklepienia przebiegające prostopadle do podłużnej osi tunelu. Występują one w ciosach kamiennych sąsiadujących bezpośrednio z portalem tunelu, w kilku przekrojach (rys. 4b). W obrębie portalu zauważono wychylenie na zewnątrz środkowej ściany, obejmującej całą szerokość obudowy. Portal tunelu podlega parciu luźnych gruntów nasypowych, a cały stok za portalem, jak pokazały badania geologiczne, jest niestateczny.

Pęknięcia obudowy przy portalu oraz jego wychylenie z pionu stanowią drugie istotne, rozwijające się zagrożenie dla bezpiecznej eksploatacji tunelu.



Rys. 4. Portal tunelu od strony Tarnowa wraz z fragmentem uszkodzonej obudowy (segment I): a) pęknięcia obwodowe w obrębie sklepienia i przyczółków oraz uszkodzenia korozyjne kamienia i betonu, m.in. wykwyty i odspojenia; b) fragment uszkodzonej ściany sklepienia z widocznymi pęknięciami, zawilgoczeniami, ubytkami korozyjnymi ciosów oraz formami biologicznymi na powierzchni ściany (porosty, mchy, pleśnie i bakterie)

3.3. Pozostałe uszkodzenia sklepienia

Na całej niemal długości wlotowego odcinka tunelu występują przecieki wody. Widoczne są zawilgoczenia, przebarwienia, wyplukania. Woda ta infiltruje w głąb kamiennych sklepień, wypływając do wnętrza obudowy tunelu.

W wielu miejscach kamienne ciosy pokryte są glonami, mchami i porostami (rys. 4b). Wiele ciosów jest osłabionych przez procesy korozyjne kamienia oraz rozsadzające działanie zamarzającej wody. Nośność sklepienia jest zagrożona i — jak pokazuje sytuacja awaryjna w segmencie III — również i w innych segmentach może dochodzić do poważnych uszkodzeń o charakterze awaryjnym lub katastrofalnym.

W obliczu powstałego stanu awaryjnego i występujących zagrożeń niezbędne jest szybkie wykonanie doraźnego wzmocnienia sklepienia obudowy w segmencie III oraz w dalszej kolejności wzmocnienia całego wlotowego odcinka tunelu od strony Tarnowa.

4. Charakterystyka wzmocnienia obudowy tunelu

Po dokonaniu wnikliwej analizy aktualnego stanu technicznego wlotowego odcinka tunelu od strony Tarnowa, przedstawionego skrótowo w rozdziale 3, uznano, że wzmocnienie i zabezpieczenie tunelu należy wykonać na długości ok. 28 m, obejmując nim cztery pełne segmenty międzydylatacyjne i część segmentu V. Wzmocnienie to pozwoli prowadzić bezpieczną eksploatację tunelu bez ograniczeń.

Przed przystąpieniem do realizacji docelowego zabezpieczenia i wzmocnienia przewidziano doraźne zabezpieczenie i wzmocnienie segmentu III (stadium I robót), które wyeliminuje wstępnie stan awaryjny, pozwoli bezpiecznie prowadzić ruch w tunelu i kontynuować roboty remontowe.

Przyjęto założenie, że roboty remontowe będą prowadzone z zachowaniem ruchu pociągów. Podczas doraźnego zabezpieczania segmentu III oraz montażu stalowej powłoki trakcję elektryczną należy zastąpić trakcją spalinową. Przewidziano odpowiednie ograniczenia prędkości na czas prowadzonych robót remontowych.

4.1. Warunki hydrogeologiczne w rejonie tunelu

Przeprowadzone rozpoznanie hydrogeologiczne oraz geotechniczne stanowiło istotny czynnik rzutujący na przyjętą ostatecznie koncepcję wzmocnienia i zabezpieczenia budowli.

Tunel wybudowany jest w warstwach litego piaskowca ze sporadycznymi przewarstwieniami łupka ilastego. W nadkładzie tunelu zalegają warstwy nasypów na odcinku segmentów I–III (strefa wysadzana podczas wojen), a w dalszej części gruboławicowych piaskowców. Granica pomiędzy rodzimym ośrodkiem skalnym i nasypem biegnie w pobliżu styku segmentów III i IV na kierunku osi podłużnej tunelu. Nasypy w nadkładzie tunelu zbudowane są w przewadze z okruchów piaskowców o wymiarach do 30÷40 cm, maksymalnie do 80÷100 cm, lokalnie z wypełnieniem gliniastym w ilości ok. 30÷40%. Nasyp jest bardzo rozluźniony. Ławice piaskowca w rozpoznanej brzeżnej strefie cechuje duża intensywność spękań i szczelin, spotykane są szczeliny o wymiarach 5×20 cm i głębokości do 1,8 m,

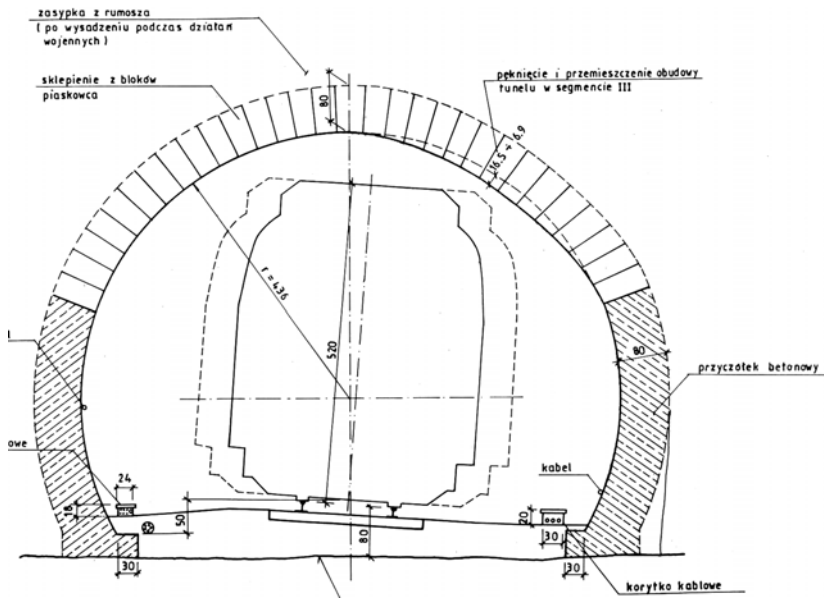
Rozpoznane otoczenie tunelu jednoznacznie wskazuje na możliwość swobodnego dopływu wód podziemnych w bezpośrednie otoczenie obudowy tunelu. Są to przede wszystkim wody płytkiego krążenia, pochodzenia infiltracyjnego.

Obserwacje morfologiczne otoczenia tunelu wykazały niestateczność stoku przylegającego do części wlotowej tunelu od strony Tarnowa. Porastające stok drzewa mają charakterystycznie zniekształcone pnie, niektóre uległy przewróceniu, a wiele z nich częściowo lub całkowicie uschło, co może wskazywać na uszkodzenie ich systemów korzeniowych w wyniku zsuwu przypowierzchniowej warstwy glin okrywowych i zwietrzelin.

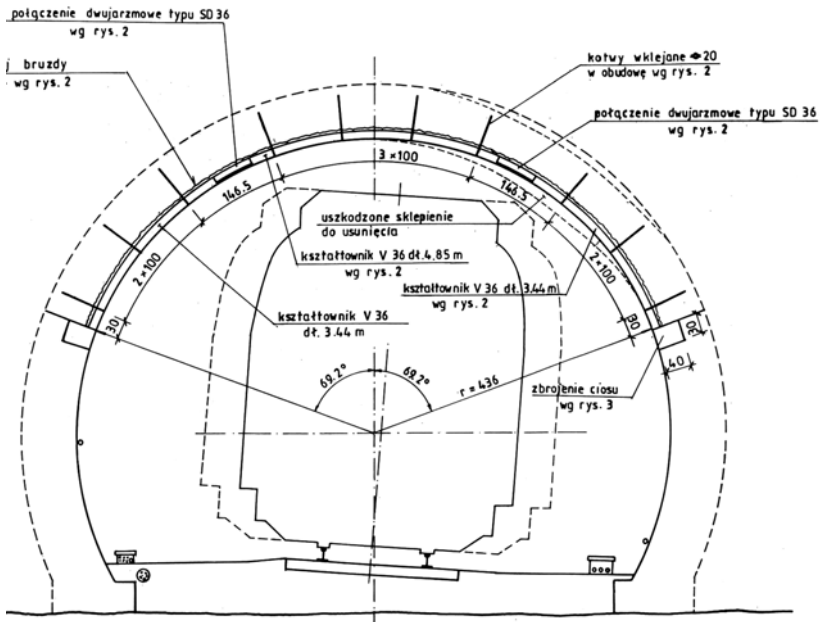
4.2. Wzmocnienie doraźne segmentu w stanie awaryjnym

Prace remontowe na odcinku wlotowym do tunelu rozpoczną się od zabezpieczenia i wzmocnienia doraźnego segmentu III (rys. 2 i 5a). Przewiduje się wykonanie sześciu stalowych odrzwi, rozmieszczonych w odstępach co 1 m (rys. 5b).

a)

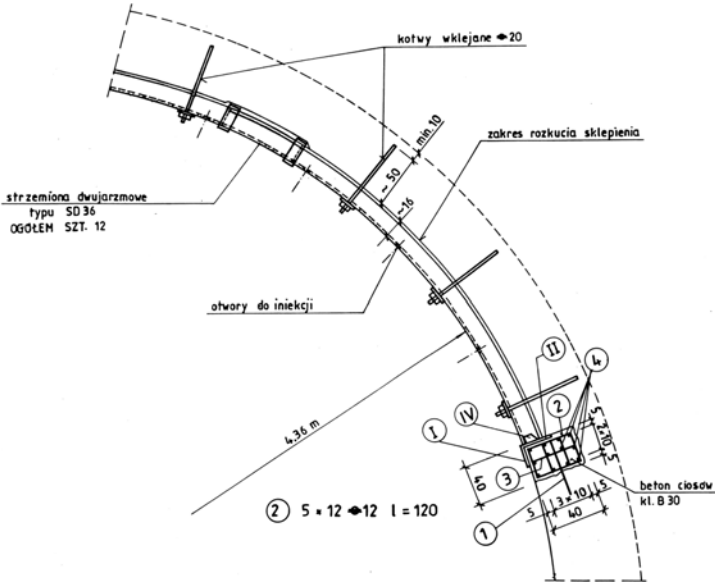


b)

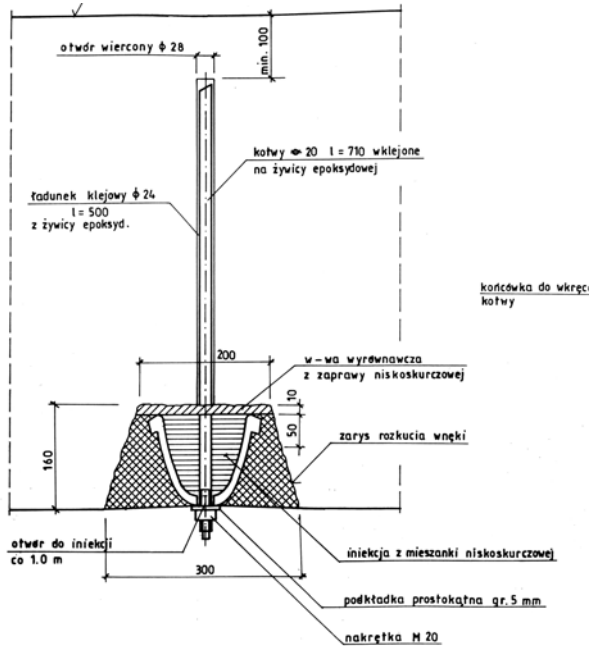


Rys. 5. Stadium I wzmocnienia i zabezpieczenia obudowy tunelu; a) stan istniejący na odcinku z pękniętym i wybrzuszonym sklepieniem; b) schemat doraźnego zabezpieczenia i wzmocnienia sklepienia kotwioną obudową odrzwiową, opartą na istniejących betonowych przeciółkach

a)



b)



Rys. 6. Szczegóły zabezpieczenia i wzmocnienia pękniętego sklepienia kotwią&ogonek; obudow&ogonek; odrz&ogonek;wi&ogonek;: a) oparcie stalowych odrz&ogonek;wi V36 na przycz&ogonek;ółku tunelu; b) kotwienie i zabudowa kształtownika V36 w kami&ogonek;nym sklepieniu

Odrzwia wykonane są w postaci łuków kołowych (rys. 6a), zespolonych z kamiennym sklepieniem za pomocą kotew stalowych $d = 20$ mm, wklejanych w wierconych otworach na ładunkach klejowych z żywicy epoksydowej (rys. 6b). Odrzwia łukowe ($r = 4,36$ m, $l = 8,15$ m, $f = 2,81$ m, $2 \times \alpha = 2 \times 69,2$ stopnia), wykonane są z kształtowników o profilu V36 (stal w gatunku 25G2 lub równoważna pod względem właściwości mechanicznych).

Odrzwia składają się z trzech elementów łukowych: dwóch łuków ociosowych i jednego łuku stropnicowego. W każdym łuku należy wykonać otwory do zainstalowania stalowych kotew wklejanych. Elementy odrzwi łączone są ze sobą za pomocą strzemion dwujarzmowych typu SD36. Odrzwia oparte są na zbrojonych ciosach podłożyskowych (rys. 6a), wykształconych w przyczółkach betonowych obudowy tunelu, na styku ze sklepieniem kamiennym, za pośrednictwem stalowych elementów stopowych.

Zabezpieczenie sklepienia wykonywane jest sukcesywnie, z jednoczesnym stopniowym demontażem istniejącego drewnianego podparcia tymczasowego. Rozkuwane bruzdy pod kolejne odrzwia muszą być dostosowane do pierwotnej, niezdeformowanej geometrii sklepienia. W związku z tym, w najbardziej wybrzuszonych partiach zachodzi potrzeba wykonania przybrania sklepienia. Po wykonaniu stalowych odrzwi wewnątrz kształtowników V36 poddaje się iniekcji z mieszanki betonowej, niskoskurczowej. W razie potrzeby przewidziano wykonanie dodatkowej opinki, lokalnie pomiędzy instalowanymi odrzwiami. Obudowa odrzwiowa uszkodzonego segmentu III stanowi stadium I przewidzianych robót remontowych.

4.3. Wzmocnienie docelowe tunelu powłoką stalowo-betonową

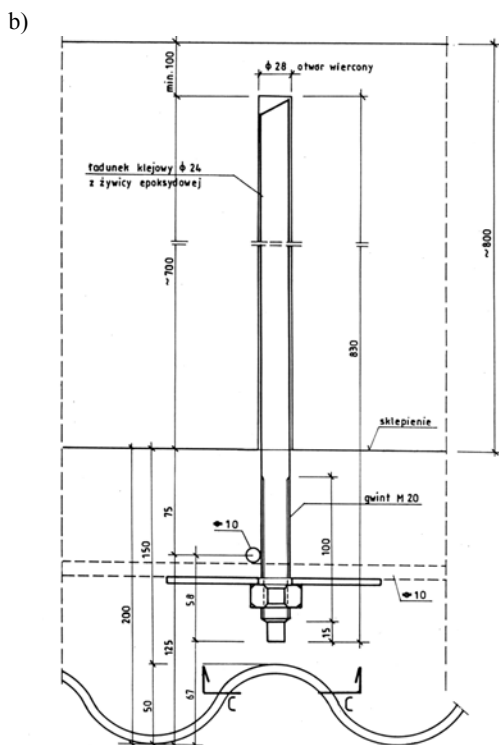
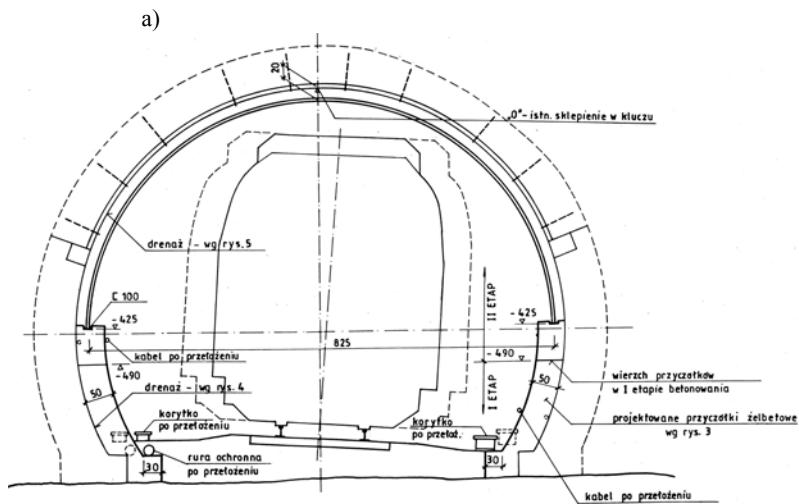
Docelowe zabezpieczenie i wzmocnienie tunelu na odcinku wlotowym od strony Tarnowa, wchodzące w zakres II stadium robót, składa się z przyczółków betonowych (rys. 7a), powłoki stalowej i koszulki z betonu zbrojonego. Wszystkie wymienione nowe elementy obudowy współpracują ze starymi elementami obudowy tunelu, tzn. ze sklepieniem kamiennym i przyczółkami betonowymi.

Roboty konstrukcyjne poprzedza czyszczenie strumieniowo-ściernie kamiennego sklepienia i przyczółków betonowych, celem usunięcia elementów luźno związanych.

Przyczółki betonowe (beton B30) zbrojone stalą żebrowaną 18G2-b kotwione są w istniejących przyczółkach betonowych systemem kotew $d = 20$ mm, wklejanych w wiercone otwory ($d = 25$ mm) na zaprawie niskoskurczowej. Ściany nowych przyczółków wykonywane są w dwóch etapach (rys. 7a), aby umożliwić montaż stalowej powłoki, wykorzystując do oparcia tymczasowego niższy poziom ścian w I etapie betonowania.

W kolejności należy przystąpić do wykonania zbrojenia (pręty $d = 10$ mm, stal 18G2-b, ułożone w siatkę 10×10 cm) koszulki betonowej (rys. 7b) i kotew wklejanych, zapewniających współpracę nowej obudowy z istniejącym sklepieniem kamiennym.

Przewidziano zastosowanie kotew $d = 20$ mm, wklejanych w wiercone otwory ($d = 28$ mm) na ładunkach klejowych z żywicy epoksydowej. Kotwy są instalowane w rzędach, co 0,50 m, z wzajemnym przesunięciem. W dalszym etapie robót, na wykonanych przyczółkach betonowych, należy przystąpić do montażu powłoki stalowej, skręcanej z falistych paneli cylindrycznych.



Rys. 7. Stadium II wzmocnienia i zabezpieczenia obudowy tunelu: a) schemat docelowego zabezpieczenia i wzmocnienia za pomocą współpracującej powłoki wykonanej ze stalowych, falistych paneli cylindrycznych i betonu samozagęszczalnego, opartej na żelbetowych, kotwionych przyczółkach; b) szczegół kotwienia powłoki w kamiennym sklepieniu obudowy

W tym czasie należy liczyć się ze zmniejszoną skrajnią budowli na odcinku prowadzonych robót. Geometria powłoki stalowej musi uwzględniać geometrię przekroju poprzecznego sklepienia (rozpiętość $l = 8,25$ m, strzałka $f = 4,05$ m) oraz geometrię sklepienia w kierunku podłużnym (promień $R = 250$ m i spadek podłużny). Przewidziano zastosowanie konstrukcji o grubości blachy 7 mm, zabezpieczonej warstwą cynku i dodatkowo farbą epoksydową od strony wnętrza tunelu. Po zmontowaniu powłoki stalowej na całej długości remontowanego odcinka ($l = 28$ m po osi tunelu), w kolejnym etapie robót należy podnieść całą konstrukcję stalową do poziomu docelowego, gwarantującego grubość wzmacniającej powłoki stalowo-betonowej równą 0,20 m (w tym wysokość fali równa 5 cm).

Po ustabilizowaniu konstrukcji stalowej na żądanym poziomie przystępujemy do betonowania przyczółków (partie górne ścian) i, w kolejności, do betonowania koszulki żelbetonowej współpracującej z powłoką stalową. Koszulka zbrojona (pręty żebrowane $d = 10$ mm w układzie krzyżowym, co 10 cm) wykonana jest z betonu samozagęszczalnego klasy B35 (W8, F150, $n < 4\%$). Zbrojenie i kotwienie koszulki sklepienia, montaż powłoki stalowej oraz betonowanie dolnych i górnych ścian przyczółków oraz obudowy sklepienia stanowią II stadium robót remontowych.

Betonowanie ok. 15 cm przestrzeni za obudową powłokową z blach falistych na długości ok. 28 m wlotowego odcinka tunelu stanowi odrębny, złożony problem z zakresu technologii betonu i wykracza poza zakres niniejszej pracy. Warto zwrócić uwagę, że pozytywne doświadczenia ze stosowaniem mieszanek betonowych samozagęszczalnych w elementach wąskoprzestrzennych są już znane w polskim budownictwie podziemnym i mostowym.

4.4. Stabilizacja ściany portalowej tunelu

Problem powstrzymania procesu wychylania się portalu tunelu rozwiązano poprzez zakotwienie oddzielonych partii wlotowych konstrukcji do stalowo-betonowej powłoki wzmacniającej, stanowiącej sztywny i stabilny element budowli w kierunku podłużnym.

W części wlotowej tunelu (strefa 3,0 m od czoła portalu) na całym sklepieniu przewidziano kotwy stalowe $d = 20$ mm, wklejane w wiercone otwory ($d = 28$ mm) na ładunkach klejowych z żywicy epoksydowej, wykonywane w rzędach, co 0,30 m, z wzajemnym przesunięciem.

Zagęszczenie kotew oraz wzmocnione zbrojenie podłużne powłoki pozwolą powiązać portal i uszkodzoną partię sklepienia przy wlocie z wykonywaną nową obudową wzmacniającą.

4.5. Odwodnienie obudowy tunelu

Za nową obudową wzmacniającą przewidziano wykonanie drenażu umożliwiającego spływ filtrującej przez sklepienie kamienne wody do partii spągowych tunelu, skąd odprowadzana jest poza obiekt, poprzez spływ grawitacyjny. W tym celu, w wykonanych bruzdach obwodowych (co 1 m) zostaną zainstalowane dreny (taśmy dystansowe z tworzywa owinięte geowłókniną) przed przystąpieniem do wykonywania elementów obudowy wzmacniającej.

Rozważyć należy również możliwość ograniczenia napływu wód płytkiego krążenia w sąsiedztwo obudowy przez dren kamienny o głębokości ok. 1 m i biegnący równoległo do tunelu w odległości ok. 11 m od jego osi oraz ograniczenie infiltracji wód opadowych w głąb górotworu przez ułożenie na powierzchni terenu GEO WEBU, z odarniowanym zasypem gliniastym.

5. Porównanie wdrożonego sposobu z innymi metodami wzmocnienia

Omówiony w pracy sposób wzmocnienia i zabezpieczenia tunelu powstał w wyniku licznych poszukiwań, analiz porównawczych oraz wnikliwej oceny uwarunkowań technicznych, geologicznych, komunikacyjnych i ekonomicznych.

Do istotnych wymogów rzutujących na przyjmowane rozwiązania zaliczyć należy konieczność zachowania ciągłości ruchu podczas robót remontowych, utrzymanie skrajni budowli na całej długości tunelu oraz możliwość etapowania tych robót, ze względu na ograniczone środki finansowe. W związku z tym z kręgu poszukiwań wyeliminowano wzmocnienie tradycyjne, polegające na wykonaniu monolitycznego płaszcza żelbetowego na rusztowaniu stacjonarnym lub przestawnym.

Występowanie w nadkładzie początkowego odcinka tunelu luźnych gruntów nasypowych, ewentualnie cienkiej warstwy piaskowców, o miąższości maksymalnie 2,5 m, z intensywnymi pęknięciami i szczelinami oraz fakt niestabilności stoku otaczającego tunel wykluczyły możliwość zastosowania w pracach remontowych techniki kotwienia obudowy w otaczającym obiekt gruncie. Z tych samych powodów techniki iniekcyjne stosowane do stabilizacji i wzmocnienia gruntu nad zagrożoną partią wlotową tunelu uznano za niewłaściwe w przedmiotowym przypadku.

Zastosowana metoda pozwala realizować wzmocnienie tunelu etapami, praktycznie wzajemnie niezależnymi w czasie. Obudowa odrzwiowa segmentu w stanie awaryjnym, wykonanie przyczółków żelbetowych na długości podlegającej remontowi, instalacja kotew wklejanych w sklepienie i siatki zbrojeniowej, montaż powłoki z falistych paneli stalowych, wreszcie wykonanie wypełnienia zespalającego z betonu samozagęszczalnego — to niezależne etapy, które należy realizować w podanej kolejności, lecz niekoniecznie w bezpośrednim następstwie czasowym.

Wykonanie powłoki stalowo-betonowej wzmocniającej sklepienie nie wymaga stosowania rusztowań i szalunków kolidujących z ruchem taboru kolejowego.

Opisana metoda nie jest łatwa pod względem wykonawczym. Wymaga dużej precyzji i doświadczenia w zakresie specjalistycznych robót inżynierskich. Do trudniejszych operacji zaliczyć należy montaż stalowej powłoki i dopasowanie jej do skomplikowanej przestrzeni geometrii istniejącej obudowy tunelu (zakrzywienie w planie i spadek podłużny) oraz betonowanie szczeliny pomiędzy stalową powłoką i obudową.

Zrealizowane ostatnio w innych krajach podobne wzmocnienia dowodzą skuteczności proponowanej techniki.

Wzmocnienie tunelu kolejowego (Niemcy) pokazano na rysunku 8. Powłoka stalowo-betonowa ujmuje swym zasięgiem całość sklepienia, opierając się na ukrytych w gruncie ławach fundamentowych.



Rys. 8. Wzmocnienie i zabezpieczenie sklepienia tunelu kolejowego za pomocą powłoki stalowo-betonowej z blach falistych i betonu samozagęszczalnego (Niemcy)

Drugi przykład (rys. 9) dotyczy sklepionego tunelu drogowego (Schlossbergtunnel, Niemcy). Powłoka stalowo-betonowa występuje tutaj w części kalotowej, opierając się na przyczółkach żelbetowych, wykształconych w partiach ociosowych tunelu. Przykład ten dobrze koresponduje z opisywanym w pracy przypadkiem.



Rys. 9. Wzmocnienie i zabezpieczenie obudowy tunelu drogowego za pomocą powłoki stalowo-betonowej z blach falistych i betonu samozagęszczalnego, opartej na kotwionych, żelbetowych przyczółkach (Schlossbergtunnel, Niemcy)

Przytoczone przykłady wskazują na znaczną poprawność stosowanych technik wzmocnienia pod względem architektoniczno-estetycznym. Wykorzystywane materiały i techniki zabezpieczeń antykorozyjnych pozwalają prognozować dużą trwałość i niskie wymagania w zakresie bieżącego utrzymania.

6. Podsumowanie i uwagi końcowe

Problemy wzmocnienia, odwadniania, uszczelniania, zabezpieczania, modernizacji i adaptacji starych tuneli kolejowych o konstrukcji sklepionej (kamiennej lub ceglanej) są obecnie bardzo aktualne ze względu na powszechność i skalę występujących zagrożeń. Budowle te, w większości ponad 100-letnie, ze względu na znaczne zaawansowanie procesów starzenia wymagają obecnie szeroko zakrojonej rehabilitacji.

W krajach zachodnich zagadnienia te zostały objęte specjalnymi programami, umożliwiającymi między innymi wymianę doświadczeń i współpracę w tym trudnym, interdyscyplinarnym obszarze inżynierii. W Polsce działania w tym zakresie mają w większości charakter doraźny i są na ogół podyktowane wzrastającym ryzykiem powstania poważnej w skutkach awarii lub katastrofy. Przedstawione w pracy rozwiązanie problemu wzmocnienia i zabezpieczenia sklepionej obudowy tunelu kolejowego w Kamionce Wielkiej wpisuje się właśnie w ten nurt aktywności.

Omówione w pracy rozwiązanie konstrukcyjne wzmocnienia i zabezpieczenia usuwa stan awaryjny i wszystkie inne istniejące obecnie zagrożenia dla bezpiecznej eksploatacji tunelu na odcinku wlotowym od strony Tarnowa. Celowe byłoby zastosowanie opracowanej technologii na całej długości budowli.

Wszystkie zastosowane w rozwiązaniu technologie są stosowane we współczesnej technice tunelowej i nie stanowią w chwili obecnej działań o charakterze eksperymentalnym.

Mechanizm interakcji układu, jaki tworzą stalowo-betonowa powłoka wzmocniająca, obudowa kamienna sklepiona oraz otaczający tunel górotwór, będą przedmiotem odrębnego opracowania.

LITERATURA

- [1] Flaga K., Ryż K. i zespół Katedry Budowy Mostów i Tuneli Politechniki Krakowskiej: Studium naukowo-badawcze na temat aktualnego stanu technicznego tunelu kolejowego w Żegiestowie, w km 129.880 linii kolejowej Tarnów – Leluchów wraz z koncepcją jego naprawy oraz projekt uszczelnienia, odwodnienia i zabezpieczenia. Kraków, 1998
- [2] Ryż K.: Wzmocnienie i odwodnienie odcinka obudowy tunelu kolejowego w Żegiestowie. Materiały Międzynarodowego Sympozjum „Planowanie, projektowanie i realizacja komunikacyjnych budowli podziemnych”, Politechnika Krakowska, Kraków, 13 marca, 10 kwietnia, 8 maja 2002
- [3] Ryż K., Koreleski J.: Analiza studialno-koncepcyjna sposobów uszczelnienia obudowy tunelu kolejowego w Żegiestowie. Kraków, Ośrodek Rzeczoznawstwa i Usług Techniczno-Ekonomicznych SITK w Krakowie, 1996
- [4] Ryż K. i zespół Katedry Budowy Mostów i Tuneli Politechniki Krakowskiej: Ekspertyza stanu technicznego i przydatności eksploatacyjnej tunelu kolejowego w km 266.998 linii kolejowej nr 8 (tor nr 2) Warszawa – Kraków (pomiędzy stacjami Kozłów i Tunel). Kraków, 2003
- [5] Ryż K. i zespół P.U.I. PROKOM s.c.: Ekspertyza oraz dokumentacja naprawcza tunelu w km 79,615 (Kamionka Wielka) linii kolejowej Tarnów – Leluchów. Kraków, 2004