

Jerzy Janeczek

Techniczne problemy wykonawstwa nawierzchni szynowej z wibroizolacją w tunelu średnicowym w Warszawie

Transport szynowy pełni bardzo ważną rolę w rozwoju systemów transportowych, szczególnie teraz zauważalną na terenie aglomeracji warszawskiej. Z budową i eksploatacją przedsięwzięć z zakresu transportu szynowego wiąże się ujemne oddziaływanie na środowisko w postaci hałasu i wibracji (drgania mechaniczne, zwane w tym przypadku drganiami komunikacyjnymi).

Choć oba te oddziaływania mają podobny, falowy charakter i często występują równocześnie, to w zagadnieniach ochrony środowiska wpływ na otoczenie drgań mechanicznych (wibracji), zwanych dalej krótko drganiami, omawiany jest odrębnie, z uwagi na jego specyfikę. Od problematyki drgań akustycznych (wywołujących hałas) różni się zakresem częstotliwości rozważanych (i mierzonych) drgań, sposobami ich pomiaru i analizy oraz zasadami ocen diagnostycznych [5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14]. O ile w odniesieniu do hałasu rozważany jest jego wpływ na ludzi, to diagnostyka oddziaływań dynamicznych dotyczy nie tylko wpływu drgań na ludzi w budynkach, ale także wpływu drgań na konstrukcję budynków. Wibracje stanowią dla budowli dodatkowe obciążenie, które w określonych przypadkach musi być uwzględnione przez konstruktora w obliczeniach wytrzymałościowych konstrukcji budynku. Również dobór punktów pomiaru drgań w budynku, celem określenia wpływu drgań na konstrukcję budynku i wpływu drgań na przebywających w nim ludzi, wymaga znajomości pracy dynamicznej tej konstrukcji. Z tych względów pomiary i ocena wpływów dynamicznych na środowisko powinna być prowadzona przez wyspecjalizowane w takich pomiarach zespoły z udziałem inżynierów budowlanych – specjalistów z zakresu dynamiki budowli.

Odrębnym problemem jest tzw. hałas materiałowy. Może pojawiać się on w budynkach w szczególnych przypadkach, najczęściej, gdy w niedużej odległości od budynku znajdują się płytkie podziemne tunele, w których poruszają się pojazdy szynowe. W odróżnieniu od zwykłych zjawisk akustycznych, hałas materiałowy nie rozprzestrzenia się w powietrzu, lecz jest wynikiem propagacji drgań mechanicznych od tunelu poprzez grunt do konstrukcji budynku. Wprawione w drgania elementy tej konstrukcji wywołują wrażenia dźwiękowe, z reguły w postaci niskoczęstotliwościowego dudnienia. Wystąpienie omawianego zjawiska jest uzależnione w głównej mierze od odległości budynku od tunelu i intensywności drgań wzbudzanych przez pojazd. W Warszawie problemy tego typu dotyczą niektórych budynków, sąsiadujących z tunelami metra lub tunelami kolejowymi linii średnicowej (Al. Jerozolimskie). W pomieszczeniach, w których pojawia się hałas materiałowy, na ogół ma miejsce także przekroczenie progu odczuwalności drgań przez ludzi lub wręcz progów komfortu prze-

bywania ludzi w budynku, a działania zmierzające do zmniejszenia wpływu drgań komunikacyjnych na ludzi prowadzą najczęściej także do rozwiązania problemu hałasu materiałowego. W tym celu zaprojektowano nawierzchnię bezpodsypaną z zastosowaniem wibroizolacji. Celem artykułu jest przedstawienie, w wersji skróconej, problemów związanych z realizacją modernizacji nawierzchni szynowej tunelu średnicowego w Warszawie. Modernizacja miała na celu dostosowanie do obowiązującego prawa, jak również wymagań ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony przed wibracją budynków i mieszkających w nich ludzi. Problemy techniczne oraz ich liczba przeszły oczekiwania zamawiającego, projektantów, ale również wykonawców, którzy realizowali naprawę według technologii do tej pory nie stosowanej w Polsce. Wprowadzenie tej technologii i wyciągnięte wnioski umożliwią lepszą organizację robót poprzez wykorzystanie doświadczeń przy kontynuacji naprawy torów w części dalekobieżnej tunelu oraz przy budowie nawierzchni kolejowej w tunelu do PPL Okęcie. Technologia budowy nawierzchni niekonwencjonalnej w oparciu o matę wibroizacyjną jest możliwa do zastosowania nie tylko na liniach kolejowych, ale również w nawierzchni typu lekkiego w tunelach metra i torach tramwajowych.

Zarys historyczny budowy tunelu średnicowego w Warszawie

Zarys historyczny budowy tunelu

W 1894 r. inżynierowie Rohan i Zieliński przedstawili koncepcję budowy podpowierzchniowego tunelu kolejowego, łączącego śródmieście Warszawy i Powiśle, na trasie Warszawa Główna – Warszawa Wschodnia. Koncepcja ta przez długie lata nie była rozpatrywana, aż do lipca 1919 r. W tym czasie Sejm Rzeczypospolitej Polskiej podjął uchwałę o budowie linii średnicowej w Warszawie. Oznaczało to konieczność budowy mostu na Wiśle, czterech torów i tunelu. W 1921 r. zatwierdzono projekt budowy tunelu średnicowego. Kwestią sporną, rozstrzygniętą w 1924 r., pomiędzy Radą Miejską Warszawy a Ministerstwem Komunikacji, była lokalizacja przystanków osobowych. Ostatecznie zdecydowano o przystankach na Śródmieściu i Powiślu. Uroczyste otwarcie linii średnicowej dla ruchu pociągów odbyło się 02.09.1933 r., a więc przeszło 70 lat temu. Tunel ten obsługiwał ruch podmiejski. W 1948 r. zakończono budowę komory ruchu dalekobieżnego, obsługującego ruch pasażerski zarówno krajowy, jak i międzynarodowy. Uroczystego otwarcia tej części tunelu dokonano w 1949 r. [28]. Dopiero w 1963 r. oddano docelowy układ komunikacyjny linii średnicowej – przystanki Śródmieście, Powiśle i Stadion. Po raz pierwszy wykonano uszczelnienie dylatacji w tunelu. W latach 1985–1987 wykonano prace związane z poprawą warstwy izolacyjnej w konstrukcji tunelu, systemem odwodnienia

torowiska, zabezpieczenia przejścia pod rondem „Marszałkowska”.

Konstrukcja i stan techniczny tunelu

Tunel miał składać się z dwóch naw – południowej i północnej. Południowa nawa tunelu została wykonana w latach 30. XX w. jako samodzielny, dwutorowy tunel kolejowy. Ściany tunelu, grubości średnio około 1,50 m, wykonano w konstrukcji muru kamiennego z bloków piaskowca szydłowieckiego, połączonych zaprawą cementowo-wapienną. Zwieńczeniem ścian jest strop żelbetowy – płyta żebrowa o różnych odstępach żeber, lokalnie – pod ulicami Marszałkowską, Bracką i Nowym Światem. Jest to blachownica skrzynkowa z górną płytą żelbetową. Grubość całkowita stropu wynosi około 1,30 m. Tunel wykonano metodą stropową, to znaczy, że jego ściany murowano w wąskich, szalowanych wykopach, na których następnie opierano konstrukcję stropu, a dopiero w fazie końcowej, pod osłoną wykonanego stropu, z wnętrza tunelu wydobywano grunt [16]. Metoda ta do minimum ograniczała uciążliwość w ruchu miejskim. Ściany i strop wykonywano sekcjami o średniej długości 10,80 m.

Po wojnie, podczas napraw konstrukcji tunelu ze zniszczeń, wykonano nawę północną, tworząc układ docelowy. Konstrukcyjnie nawa północna nie różni się specjalnie od nawy południowej – konstrukcję murowaną ściany zewnętrznej z kamienia zastąpiono konstrukcją z betonu monolitycznego tej samej grubości – 1,50 m. Aktualnie powierzchnia ściany pokryta jest głównie naciekami węglanowymi [1]. Jest to wynikiem rozkładu hydrolytycznego krzemianów i glinianów wapiennych, zawartych w przesączającej się wodzie. Wyługowaniu ulega w pierwszej kolejności wapno zawarte w zaprawie. Efektem wtórnych reakcji chemicznych jest obecność gipsu, jako wynik reakcji z dwutlenkiem siarki, występującym w tunelu. Halit świadczy o zasoleniu wód przesączających się do tunelu. Obecność kaolinitu (minerału ilastego) świadczy o wyflukaniu ośrodka gruntowego za obudową.

Budowę nawy północnej (tunelu dalekobieżnego) zakończono w 1948 r. Wyprzedzająco, pod projektowaną trasą obu naw tunelu, wykonano syfony kanalizacji miejskiej w osiach ulic Marszałkowskiej i Nowy Świat, obniżając jej przebieg w rejonie przyszłego skrzyżowania z linią kolejową. W latach 60. XX w. wykonano konstrukcje odciążające ściany tunelu i tory w strefie skrzyżowania z projektowaną trasą Szybkiej Kolei Miejskiej – SKM. W 1963 r. oddano do eksploatacji docelowy układ komunikacyjny linii średnicowej – przystanki osobowe Śródmieście, Powiśle i Stadion. Wykonano uszczelnienie dylatacji poprzecznych, które rozmieszczone są co 10–12 m. W latach 80. ubiegłego wieku dokonano naprawy izolacji stropu w konstrukcji tunelu metodą odkrywkową, układając od zewnątrz nową izolację powłokową, oraz zbudowano metodą tarczową dwa tunele metra pod funkcjonującym tunelem kolejowym, w osi projektowanego wcześniej przebiegu linii SKM. W każdej nawie tunelu znajdują się dwa tory kolejowe o nawierzchni klasycznej (szyny na podkładach drewnianych, ułożonych na podsypce tłuczniowej grubości 0,30 m, bezpośrednio na spągu betonowym grubości min. 0,20 m). Pod spągami betonowymi, w gruncie nawy południowej, wykonano kolektor odwodnieniowy $\varnothing 800$ mm ze studzienkami rewizyjnymi, murowanymi z cegły czerwonej, rozmieszczonymi średnio co około 33,0 m. Kanał odwodnieniowy znajduje się w osi międzytorza na rzędnej dna 1,80 m poniżej poziomu główki szyny. Na potrzeby dokumentacji projektowej modernizacji tunelu dokona-



Fot. 1. Budowa tunelu średnicowego w latach 30. XX w.

no oceny stanu technicznego tunelu oraz zrealizowano w pełnym zakresie program badań do oceny wielkości drgań od ruchu pociągów w tunelu, przenoszonych przez budynki, ludzi i otoczenie.

Konstrukcja i stan techniczny nawierzchni kolejowej

Tunel średnicowy ma w świetle wymiary średnio $8,20 \times 5,20$ m. W związku z tym geometryczny układ torów w planie i profilu wykazywał odstępstwa od projektowanej trasy i wymagał korekty. Nawierzchnia kolejowa klasyczna ułożona była z szyn S49 z pośrednim przytwierdzeniem typu K szyn do podkładów drewnianych, ułożonych na warstwie podsypki tłuczniowej grubości około 30 cm. Podczas 20-letniej eksploatacji szyny wymagały wtórnej wymiany ze względu na bardzo duży stopień skorodowania (eksploatacja w warunkach szczególnej agresywności – wilgotność w połączeniu z prądami błędzającymi). Stan przytwierdzenia również był niedostateczny i wymagał generalnego remontu. Podkłady drewniane sosnowe, ze względu na eksploatację w tych warunkach, spróchniały i nie zapewniały utrzymania szerokości toru, zapewniającej bezpieczeństwo ruchu pociągów. Podsypka tłuczniowa uległa zanieczyszczeniu. Z tych powodów prędkość pociągów w ostatnim czasie wynosiła 20 km/h i groziło całkowite wstrzymanie ruchu kolejowego.



Fot. 2. Nawierzchnia klasyczna w tunelu średnicowym

Problemy związane z eksploatacją nawierzchnią:

- przenoszenie drgań mechanicznych (wibracji) pochodzących od kontaktu koła z szyną na sąsiednie budynki i mieszkających tam ludzi;

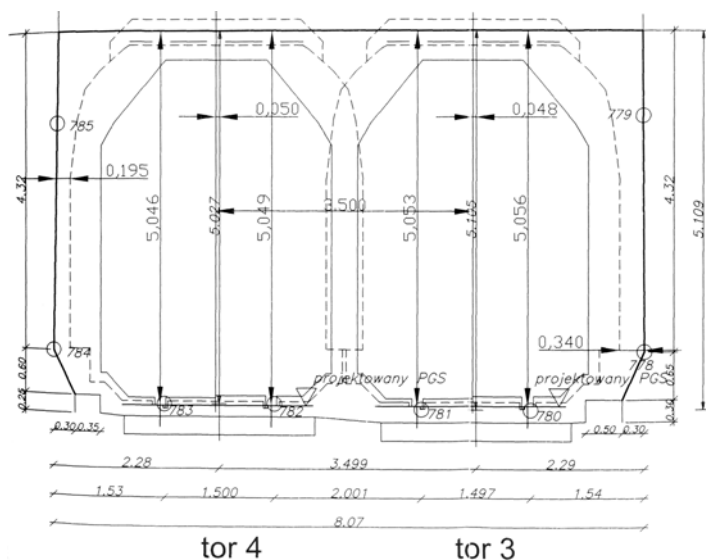
- okresowa konieczność naprawy głównej nawierzchni kolejowej (średnio co 20 lat);
- nawierzchnia palna (podkłady drewniane impregnowane), wydzielająca toksyczne dymy;
- utrudniona ewakuacja ludzi w przypadku pożaru;
- środowisko agresywne w połączeniu z prądami błędzającymi, powodujące szybką korozję elementów nawierzchni kolejowej (szyny, podkładowki, wkręty i śruby stopowe).

Zły stan techniczny elementów odciążających klasyczną nawierzchnię kolejową nad syfonami kanalizacji miejskiej stał się również kolejną przyczyną obowiązującego ograniczenia prędkości taboru kolejowego do 20 km/h. Konstrukcje odciążające wymagały wymiany [1]. Wyniki pomiarów drgań, wykonywane w warunkach eksploatacyjnych, tj. ograniczenia prędkości [15], w wytypowanych budynkach na trasie tunelu zbliżone były do wielkości dopuszczalnych, a w dwóch budynkach nieznacznie je przekraczały (budynki przy ul. Smolnej 9 i przy Al. Jerozolimskich 28, leżące w planie najbliższej tunelu).

Problemy techniczne na etapie projektowania

Skrajnia budowli

Mając na uwadze ograniczoną szerokość tunelu w świetle, projektowana odległość między osiami torów na odcinkach prostych może wynosić nie mniej niż 3,50 m. Jednak wymagało to odstępowania od obowiązującego rozporządzenia nr 151. Na początkach i końcach łuków zaprojektowano odpowiednie poszerzenia między osiami torów – 3,73 m, 3,55 m i 3,61 m, w zależności od promieni łuków poziomych, zgodnie z instrukcją Id 1. Projektowane odległości osi toru od ścian tunelu, mierzone na wysokości ok. 1,1 m od poziomu główki szyny, wynoszą ponad 2,2 m, lecz nadwyżka ponad 2,00 m została wykorzystana na zabudowanie suchego wodociągu, semaforów i korytek kablowych. Na rysunkach przekrojów poprzecznych tunelu przedstawiono, w miejscach charakterystycznych, skrajnię statyczną taboru oraz skrajnię podstawową budowli (2,00 m) z odpowiednimi poszerzeniami ze względu na promienie łuków i wielkości zastosowanych przechyłek. Tunel na odcinkach prostych nie jest idealnie prosty, jest wichrowaty. W różnych miejscach różnie odchylają się jego ściany od osi, raz w lewą raz w prawą stronę w poszczególnych dylatacjach. Nie sposób prowadzić osi torów w stałej odległości od



Rys. 1. Przekrój poprzeczny – skrajnia taboru i budowli w tunelu

ścian. Starano się poprowadzić tory w możliwie optymalny sposób, zgodnie z przepisami i jednocześnie zostawić miejsce poza skrajnią budowli nad niszami bezpieczeństwa na rurę wodociągu przeciwpożarowego, projektowanego na środkowej ścianie tunelu. W pełni można zachować tylko podstawową skrajnię budowli 2,00 m, z odpowiednimi poszerzeniami [1]. Tunel nie pozwala także na zachowanie pełnej, zgodnej z PN-69/K-02057, skrajni wysokościowej na całej długości trasy. W miejscach, gdzie występuje załamanie ściany środkowej, tam rurę wodociągu trzeba było podnieść na wysokość min. 3,10 m.

Problemy związane z konstrukcją tunelu:

- ograniczona szerokość i wysokość tunelu (nie dostosowana do obecnie obowiązujących norm i przepisów, w tym skrajni budowli);
- brak możliwości osiągnięcia parametrów eksploatacyjnych, tj. prędkości ruchu pociągów większej niż 60 km/h dla taboru klasycznego;
- brak możliwości zawieszenia sieci trakcyjnej na wysokości min. 5,20 m (zawieszenie sieci trakcyjnej na wysokości mniejszej od 4900 mm wymagało przeprowadzenia dodatkowych pomiarów, prób i badań);
- ograniczenia umożliwiające zabudowę elementów uzbrojenia tunelu na ścianach (semafony, wodociąg i skrzynki przeciwpożarowe);
- trudności w uzyskaniu pochyłeń niwelety torów, zgodnych z instrukcją Id 1;
- brak możliwości uzyskania międzytorza szerokości 4,00 m;
- ograniczone możliwości zastosowania różnych rozwiązań i technologii zabezpieczenia przed wibracją.

Niweleta torów

Obniżanie niwelety nie jest wskazane ze względu na przebiegające poniżej kolektory w ulicach Marszałkowskiej i Nowy Świat oraz ze względu na tunel metra. Przyjęto spadki podłużne niwelety, zbliżone do istniejących:

- na torze nr 3 od 2,67‰ do 12,59‰
- na torze nr 4 od 2,64‰ do 12,59‰.

Założyliśmy niwelety wyokrąglono łukami o promieniu 10 000 m. Ze względu na kształt istniejących obrysów tunelu, w przekrojach poziomych i pionowych nie można zachować wszystkich warunków technicznych, jak dla linii klasy 0 i 1, i tak:

- dwa pochylenia 7,74‰ i 12,59‰ są większe, niż zalecane 6‰;
- różnica sąsiednich spadków przy wschodnim końcu tunelu, przed p.o. Warszawa Powiśle, wynosi, z konieczności, ok. 8‰ zamiast zalecanej 5‰.

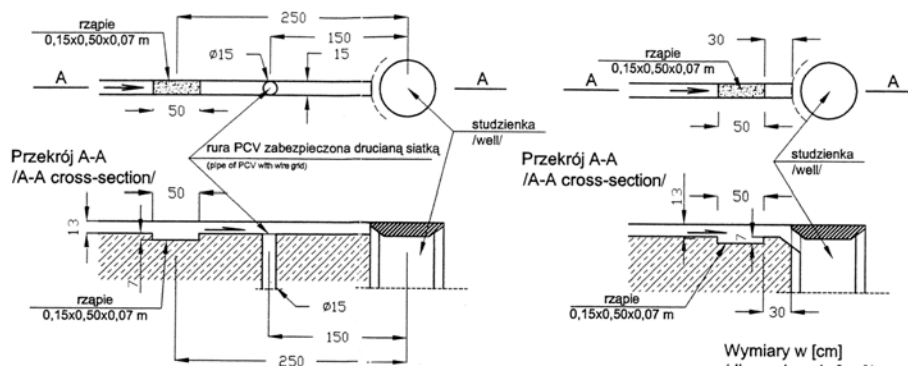
Podbudowa betonowa (płyta podtorowa)

Zamiast podsypki tłuczniowej zaprojektowano podbudowę betonową, która jest elementem zastępującym podsypkę tłuczniową w torze kolejowym. Konstrukcja podbudowy w omawianym projekcie jest wspólna dla obu torów nr 3 i 4.

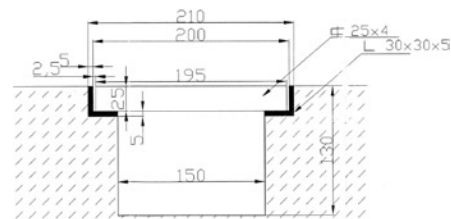
Na prostej w tunelu, gdzie tory biegną równolegle obok siebie, górnej powierzchni podbudowy nadano spadki poprzeczne 1%, skierowane od ściany tunelu do środka międzytorza, w celu właściwego odwodnienia.

Problemy związane z budową kanału odwodnienia:

- brak ciągłości zbrojenia poprzecznego łączącego płyty toru nr 3 i 4;



Rys. 2. Schemat dwóch wariantów odprowadzenia wody z kanałów powierzchniowych płyty torowej



Rys. 3. Przekrój poprzeczny kanałka odwodnieniowego

- możliwość uszkodzenia zbrojenia podczas wycinania kanałka piłą;
- konieczna zmiana konstrukcyjna jego wykonania.

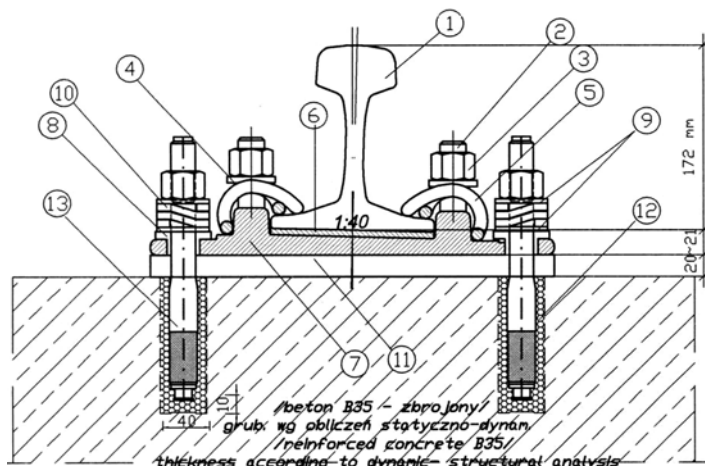
W osi międzytorza projektowany jest kanałek odwadniający szerokości 15 cm, głębokości 13 cm (rys. 3), przykryty kratką stalową i przyjmujący ewentualną wodę ze ścian zewnętrznych lub z mycia tunelu. Woda z kanałka odprowadzana będzie do studzienek rewizyjnych i dalej kolektorem usytuowanym pod płytą torową do Wisły. W łukach górna powierzchnia podbudowy betonowej miała być tak uformowana, aby zapewnić właściwą przechyłkę toru. Projektowana podbudowa betonowa styka się z betonem podtorza p.o. Warszawa Śródmieście. Dla uniknięcia skokowej zmiany wielkości modułu sprężystości obu części podtorza (istniejącego i projektowanego), przewidziano stopniową zmianę grubości ICOSIT-u (sprężystej poduszki w węzle mocowania szyny) na długości 20 m podtorza tunelowego (podbudowy). Od strony portalu tunelu przed przystankiem p.o. Warszawa Powiśle przewidziano wykonanie płyty przejściowej, długości 20 m, pod zwiększającą się warstwą tłucznia.

Opis rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni niekonwencjonalnej

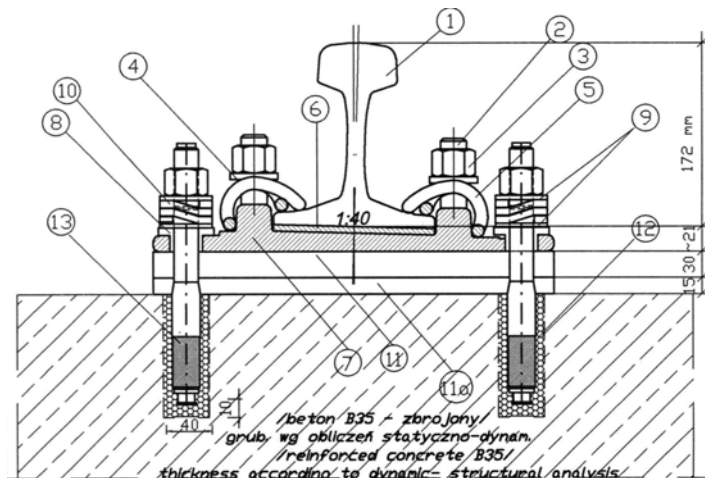
W ramach naprawy tunelu podmiejskiego przyjęto typ nawierzchni torowej niekonwencjonalnej, tj. tor na podbudowie betonowej, którą stanowi projektowana żelbetowa płyta konstrukcyjna spągu tunelu, grubości około 20 cm. Szyny przymocowane są w węzłach mocujących bezpośrednio do podbudowy, bez stosowania podkładek [12]. Jako nawierzchnię stalową przyjmuje się szyny typu UIC60, zamiast S49, jako bardziej odpowiednie do eksploatacji w tunelu (dłuższy okres eksploatacji bez kłopotliwych napraw w tunelu). Przy przystankach Warszawa Śródmieście i Warszawa Powiśle zaprojektowano ułożenie szyn przejściowych UIC60/S49 w celu połączenia szyn UIC60 z obecnie eksploatowanymi w torach linii średnicowej szynami S49. Szyny UIC60 na prostych i w łukach będą spawane. W tunelu, niezależnie od pory roku, nie występują znaczne różnice temperatur.

Problemy związane z mocowaniem szyn (rys. 4):

- brak świadectwa dopuszczenia do eksploatacji;
- konieczność rozwiercania w podkładkach Pm 60 otworów pod wkręty do średnicy 41 mm, w wyniku czego pozostawienie minimalnej odległości 8 mm od krawędzi podkładki może spowodować szybką utratę jej właściwości przytwierdzenia ze względu na umieszczenie w agresywnych warunkach (woda w połączeniu z prądami błędzącymi);
- duże prawdopodobieństwo ścięcia kotew;



Rys. 4. Węzeł mocowania szyny typu METROPROJEKT - SIKAPOLAND (wariant I)
1 - szyna UIC 60, 2 - śruba stopowa M22, 3 - nakrętka M22, 4 - podkładka płaska pod nakrętkę, 5 - taśma sprężysta Skl 12, 6 - przekładka podszywna UIC 60, 7 - podkładka żebrowa Pm 60, 8 - tuleja z poliuretanu, 9 - podkładka na tulejce, 10 - pierścień sprężysty trzyzwojowy, 11 - ICOSIT KC-340/7 grubości 30 mm [+10, -5], 12 - ICOSIT KC-220/6, 13 - kotwa stalowa HRC DB M22x245 - HILTI z nakrętką



Rys. 5. Węzeł mocowania szyny typu METROPROJEKT - SIKAPOLAND (wariant II)
1 - szyna UIC 60, 2 - śruba stopowa M22, 3 - nakrętka M22, 4 - podkładka płaska pod nakrętkę, 5 - taśma sprężysta Skl 12, 6 - przekładka podszywna UIC 60, 7 - podkładka żebrowa Pm 60, 8 - tuleja z poliuretanu, 9 - podkładka na tulejce, 10 - pierścień sprężysty trzyzwojowy, 11 - ICOSIT KC-340/7 grubości 30 mm [+10, -5], 11a - warstwa wyrównująca SIKADUR 53, 12 - ICOSIT KC-220/6, 13 - kotwa stalowa HRC DB M22x245 - HILTI z nakrętką

- nieznaną efekt wibroizolacyjności;
- konieczność symetrycznego w stosunku do otworów w podkładce żebrowej wywiercenia około 20 000 otworów w płycie żelbetowej pod kotwy – niemożliwe do wykonania bez specjalistycznej wiertnicy.

Problemy techniczne mocowania, przedstawionego na rysunku 5, są identyczne, jak dla węzła z rysunku 4.

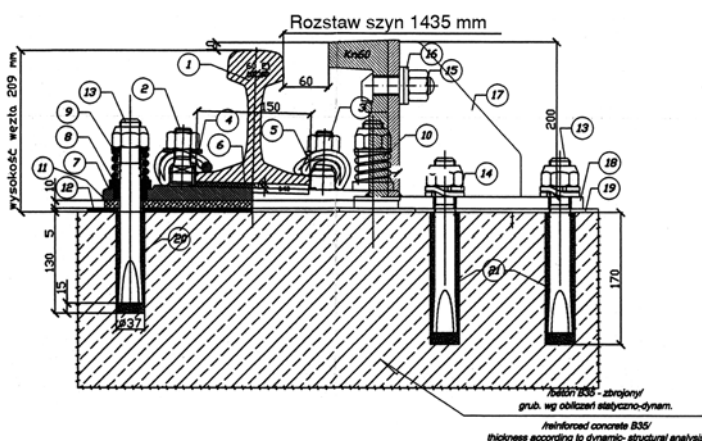
Na prostych odcinkach toru podkładka przytwierdzona miała być do płyty betonowej dwoma kotwami, rozmieszczonymi po przekątnej (wariant I). Na łukach, krzywych przejściowych, odcinkach prostych długości 2 m za krzywymi przejściowymi oraz na odcinkach prostych obu torów, gdzie spadek podłużny wynosi 12,59‰ (ok. 300 m na torze nr 3 i ok. 275 m na torze nr 4) podkładka przytwierdzona miała być do płyty betonowej czterema kotwami (wariant II) [1, 12] ze względu na duże prawdopodobieństwo ścięcia dwóch kotew w warunkach eksploatacji.

Szczegół mocowania prowadnicy

Zgodnie z rozporządzeniem nr 151 w torach położonych w łukach o promieniu mniejszym lub równym 300 m przy szynie wewnętrznej będą ułożone prowadnice, których celem jest zabezpieczenie taboru kolejowego przed wykolejeniem, a szyn – przed zwiększonym bocznym zużyciem. Zaprojektowano wykonanie konstrukcji prowadnic, wzorowanych na kierownicach rozjazdów UIC 60, tj. kształtownik Kn60 umieszczony na koziolkach, a te z kolei przyspawane do podkładek wspólnych z szyną toczną. Szerokość żłobka między powierzchnią prowadzącą prowadnicy a powierzchnią boczną głowki szyny przyjęto 60 mm +5 mm, -3 mm, zgodnie z Id 1.

Problemy mocowania szyny z prowadnicą (rys. 6):

- brak podkładki z ICOSIT-u, grubości 30 mm, pod podkładką kątową prowadnicy;



Rys. 6. Węzeł mocowania szyny z prowadnicą typu Vossloh – system 336

1 - szyna UIC 60, 2 - śruba stopowa Hs32, 3 - nakrętka na śrubę stopową Hs32, 4 - podkładka kołnierkowa Uls 6, 5 - łapka sprężysta Skl 12, 6 - przekładka podszynowa Zw 687, 7 - podkładka żebrowa Rph 49, 8 - izolacyjna tulejka kołnierkowa Fbu 6, 9 - podkładka kołnierkowa Uls 10, 10 - sprężyna Fe 28, 11 - elastyczna przekładka podpodkładowa Zwp 186/10/4, 12 - podkładka Zwp 432/200/5, 13 - kotwa As 10 z sześciokątną nakrętką, 14 - pierścień sprężysty podwójny Pds 25a, 17 - koziolatek prowadnicy, 18 - podkładka pod koziolatek prowadnicy, 19 - podkładka Zwp grubości 5 mm, 20 - ICOSIT KC-220/6 TX + piasek frakcji 0,4-0,8 mm do wklejania kotew (węzeł szyny), 21 - ICOSIT KC-220/6 TX + piasek frakcji 0,4-0,8 mm do wklejania kotew (węzeł prowadnicy)

- trudności w utrzymaniu szerokości żłobka między belką prowadnicą a szyną;
- utrata jednego stopnia ochrony przed wibracją.

Konstrukcja podbudowy w tunelu i na rozjeździe

Konstrukcję podbudowy zaprojektowano jako płytę podłożową, grubości 20 cm, ułożoną na istniejącej warstwie zagęszczonej do wskaźnika $Is = 0,98$ podsypce piaskowej, ułożonej między ścianami pionowymi bankietów kanalizacji kablowej. W przekroju tunelowym zaprojektowano dylatacje co 24,0 m, a na rozjeździe – co 12,0 m. Płytę zaprojektowano na obciążenie ruchome taboru kolejowym według PN-85/S-10030. Obliczenia przeprowadzono programem ABC-PŁYTA na sprężystym podłożu, dla $C_0 = 10,0 \div 20,0$ MN/m³. Przyjęte zbrojenie nie spowoduje szerokości rozwarcia rys większych od $a = 0,10 \div 0,15$ mm (jak dla środowiska średnio zagęszczonego). Z uwagi na wymóg wczesnego obciążenia (po 3 dniach), zaleca się stosowanie receptury, jak dla betonu klasy B-35 o niskim skurczu [1].

Mata wibroizolacyjna

Na płycie spągowej i pionowych ścianach bankietów kanalizacji kablowej zostanie ułożona mata wibroizolacyjna. Zasięg ułożenia arkuszy mat wibroizolacyjnych oraz rodzaj maty, wraz z danymi technicznymi, będzie określony na etapie realizacji. Po ułożeniu maty należy zabezpieczyć ją powierzchniowo cienką folią przed uszkodzeniem w trakcie przygotowania do betonowania płyty torowej. Doboru maty wibroizolacyjnej należy dokonać na podstawie obliczeń symulacyjnych, umożliwiających prognozowanie jej skuteczności, w zależności od:

- rodzaju taboru (zwłaszcza nacisk osi na tor, rodzaj lokomotywy, wagonów i elektrycznych zespołów trakcyjnych);
- maksymalnej prędkości pociągów;
- masy nieusprężynowanej płyty torowej, zwłaszcza jej drgań własnych tak, aby wtórne odkształcenie szyny nie przekraczało 1,5 mm;
- typu szyn;
- rodzaju i sposobu przytwierdzenia szyn do płyty betonowej.

Wibroizolacja winna być tak zaprojektowana, aby drgania wzbudzone przez ruch pociągów nie wpływały niekorzystnie na konstrukcję tunelu oraz sąsiednią zabudowę, jak również mieszkających tam ludzi. Wpływ na to ma nie tylko konstrukcja toru w tunelu, ale również warunki geologiczne i konstrukcja budynków odbierających drgania (położonych najbliżej osi tunelu). Przeprowadzenie badania drgań i ich wpływu na ludzi zostały zlecone do przeprowadzenia zespołowi prof. Krzysztofa Stypuły z Politechniki Krakowskiej. Badania obejmowały pomiary drgań w budynkach położonych najbliżej osi tunelu, pochodzących ze wszystkich możliwych źródeł (od pociągów w części podziemskiej i dalekobieżnej tunelu, pojazdów samochodowych i tramwajów). Na tej podstawie wybrano izolator wibroakustyczny systemu PHOENIX, typ S 22-02, stosowany do kolejowych linii normalnotorowych. Wibroizolator ten charakteryzuje się sztywnością statyczną większą niż 0,03 N/mm³ i przeznaczony jest dla ruchu pociągów o prędkości mniejszej niż 120 km/h, posiada aprobatę techniczną IBDM nr AT/2001-04-1045. Wybrana odmiana wibroizolatora to mata podtorowa szerokości 0,65 m i długości do 10,00 m [4].

Płyta torowa

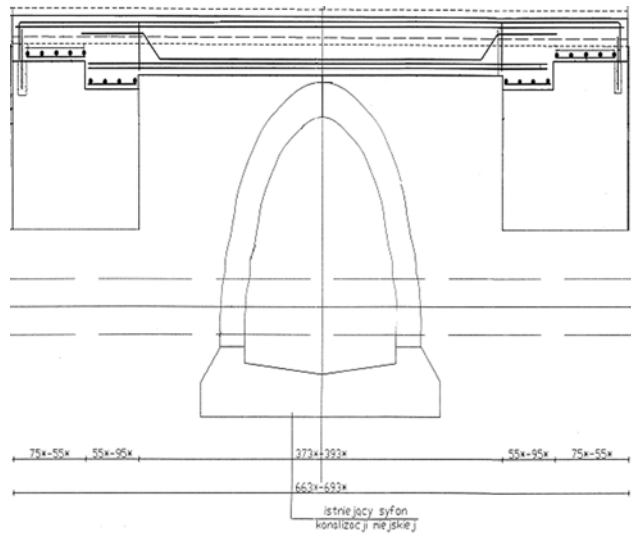
Płyłę torową, grubości 35,0 cm, zaprojektowano jako monolityczną, żelbetową, zbrojoną stalą RB 500W, dylatowaną w sposób identyczny, jak płyta podłogowa, lecz naprzemiennie w stosunku do dylatacji dolnych. Zaprojektowana na obciążenia ruchome taborem kolejowym według tej samej normy, obliczona programem ABC-PLYTA na sprężystym podłożu, dla sztywności maty wibroizolacyjnej. Przyjęto szerokość rozwarcia rys $a \leq 0,2$ mm. Ze względu na konieczność wczesnego obciążenia konstrukcji i mocowania szyn (po 3 dniach, wymóg zamawiającego), płytę należy wykonać z betonu B-50 niskoskurczowego [1].

Konstrukcja podbudowy nad syfonami kanalizacji miejskiej

Nad syfonami kanalizacji miejskiej w rejonie ulic Marszałkowskiej i Nowego Świata, zaprojektowano odciążające, monolityczne konstrukcje żelbetowe, w układzie płytowym (grubość płyty uwarunkowana projektowanym poziomem wierzchu płyty podtorza i poziomem wierzchu obudowy kolektora), z zachowaniem istniejącej rozpiętości konstrukcji. Konstrukcje odciążające z podbudową powiązane są z projektowanym poziomem główki szyny. Zaprojektowano jednoprzęsłowe, bezprzegubowe ramy, o podpórach dużej sztywności. Wysokość konstrukcyjna płyt wynosi 35 cm dla galerii w rejonie Marszałkowskiej, oraz 30 cm przy Nowym Świecie. Podpory zaprojektowano jako ciągłe i sztywno połączone z płytą, natomiast samą płytę podzielono dylatacjami na dwie – pod każdy tor oddzielna płyta. Poziom posadowienia ramy przy Marszałkowskiej przyjęto w poziomie płyty betonowej kanału obudowy syfonu kanalizacji, zapewniając ochronę kanału przed obciążeniem taborem kolejowym. Obciążenie z podpór ramy przekazywane jest na podłoże poniżej poziomu posadowienia kanału. Przy Nowym Świecie posadowienie ramy przyjęto w poziomie posadowienia obetonowanego syfonu kanalizacji. Pod posadowieniem konstrukcji odciążającej przy Nowym Świecie, z uwagi na mały nakład nad kolektorem, wykonano zabezpieczenie przed przekazywaniem obciążenia na kolektor. Kanał obudowy syfonu przy Marszałkowskiej, według ekspertyzy opracowanej przez dr. inż. W. Wydrę, może być eksploatowany w sposób bezpieczny jeszcze przez długi czas, pomimo licznych spękań konstrukcji, szczególnie w sklepieniu. Wymagane jednak jest, aby:

- obudowa pracowała tylko pod obciążeniem ciężaru własnego;
- wzmocnić konstrukcję przez wypełnienie rys i ubytków zaprawą naprawczą;
- zapewnić odprowadzenie wód z bliskiego otoczenia.

Wynika z tego, że na etapie naprawy tunelu średnicowego konieczny jest remont obudowy syfonu. Jest to jedyna możliwość, po demontażu istniejących konstrukcji mostowych, wykonania wszelkich napraw i wzmocnień. Przed przystąpieniem do remontu obudowy syfonu konieczne będzie wzmocnienie posadowienia ścian tunelu na szerokości obudowy, np. iniekcją strumieniową lub z zapraw na bazie żywic. Ma to na celu zabezpieczenie posadowienia ścian na okres realizacji mostów. Żelbetową konstrukcję odciążającą zaprojektowano z betonu B-35 oraz stali RB 500W [1]. Tak wykonana płyta żelbetowa uniemożliwia zastosowanie maty wibroizolacyjnej. Jedynym, możliwym do zastosowania rozwiązaniem jest wykonanie w niej dwóch kanałów z zapewnieniem ciągłego podparcia szyny w otulinie systemu ERS. Zastosowana podkładka wibroizolacyjna zapewnia wymagany stopień ochrony przed wibracją. Niemożliwe jest zastosowanie podwójnego stopnia ochrony przed wibracją, tak jak na pozostałej części tunelu.



Rys. 7. Konstrukcja odciążająca nad galerią MPWiK

Problemy związane z konstrukcją odciążającą (rys. 7):

- galeria MPWiK, wykonana z cegły palonej połączonej zaprawą cementowo-wapienną, jest w złym stanie technicznym;
- zbyt duża jest wysokość sklepienia galerii w stosunku do podpór;
- brak jest możliwości zastosowania konstrukcji odciążającej prostej płytowej; konstrukcja musi zapewniać odległość między górą sklepienia galerii a dołem konstrukcji odciążającej min. 5 cm;
- mała wysokość konstrukcji odciążającej wymusza konieczność zastosowania mocowania szyny w systemie ERS;
- konieczne jest szczelne wykonanie deskowania z blachy płaskiej, bez możliwości jej odzyskania.

Konstrukcja podbudowy nad tunelami tarczowymi metra

Konstrukcję podbudowy zaprojektowano identycznie, jak w pozostałej części tunelu, dodatkowo tylko w pierwszej kolejności dokonano wypełnienia konstrukcji stalowej, zabezpieczającej tunele tarczowe metra, keramzytem do poziomu 20 cm poniżej wierzchu konstrukcji stalowych belek dwuteowych. Do górnego poziomu konstrukcji wylano warstwę betonu podkładowego B-25, co będzie stanowić zadaną rzędną spodu płyty podtorowej. Z uwagi na sklepienia żelbetowe, wykonane nad tubami tarczowymi, dodatkowe konstrukcje odciążające są zbędne. Na tak wykonanej podbudowie możliwe będzie ułożenie maty wibroizolacyjnej.

Problemy techniczne na etapie realizacji

Stan istniejący

Po rozpoczęciu robót rozbiórkowych w dolnej części tunelu, na głębokości ok. 47 cm od poziomu główki szyny, odkryto żelbetową płytę spągową grubości około 40 cm. Jest ona nieciągła na długości i szerokości tunelu. Nie jest połączona konstrukcyjnie ze ścianami tunelu. Projektant stwierdził, że rozbiórka płyty stanowi zagrożenie dla stabilności tunelu, natomiast niweleta ograniczona jest skrajnią wysokościową budowli. Płyta ta jest podzielona szczelinami dylatacyjnymi, umożliwiającymi odprowadzanie wód gruntowych z jej powierzchni, jak zza ścian tunelu, średnio co 10–12 m w poprzek, oraz na całej długości – wzdłuż osi międzytorza na szerokości około 20 cm. Płyta spągowa występuje na całej długości tunelu z elementami jej nieciągłości na długości

galerii pod ul. Marszałkowską, nad tunelem metra i kanalizacją pod ul. Nowy Świat. W tunelu ułożona była klasyczna nawierzchnia torowa S49, na podkładach drewnianych, na podsypce tłuczniowej grubości około 30 cm. W torach położonych w łukach o promieniu $R \leq 300$ m, przy szynie wewnętrznej, ułożone są prowadnice konstrukcji indywidualnej. Wszystkie elementy nawierzchni wykazują duże ślady zużycia, korozji, uszkodzeń mechanicznych, a podsypka jest mocno zanieczyszczona. Zaobserwowano znaczne zużycie szyn, szczególnie w rejonie małych łuków poziomych. Odkryte i zidentyfikowane nierówności płyty spągowej oraz jej pęknięcia, załamania i zapadnięcia sugerowały, że jest ona położona na niestabilnym gruncie, wymagającym wzmocnienia lub uzupełnienia.



Fot. 3. Nierówności odkrytej płyty spągowej (dolnej) wraz ze szczelinami dylatacyjnymi

Problemy związane ze stanem płyty spągowej (fot. 3):

- uszczelnienie dylatacji – brak możliwości odprowadzania wody;
- nierówności powierzchni płyty spągowej uniemożliwiają ułożenie maty wibroizolacyjnej.

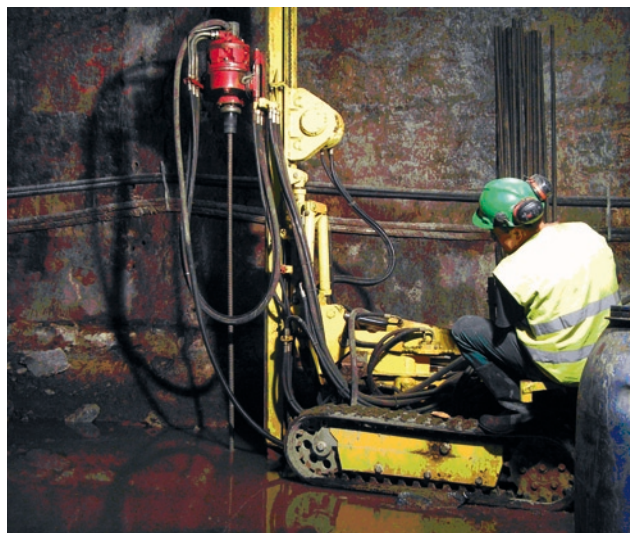


Fot. 4. Nierówności odkrytej płyty dolnej w powiązaniu ze ścianą tunelu

Stan płyty spągowej (fot. 4) spowodował konieczność wykonania:

- badań dla określenia zakresu robót naprawczych;
- mikropalowania i iniekcji podpłytkowych;
- bankietów kablowych;
- wyrównania podłoża betonowego, przez frezowanie bądź nadlewanie betonem, przed ułożeniem maty wibroizolacyjnej.

Nie wiedząc, z czym można się spotkać, zlecono przeprowadzenie badań nośności gruntu pod płytami, rozpoczynając od płyt najbardziej uszkodzonych. Badania trwały, a ich wyniki były zaskakująco niekorzystne. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że pod około 20% płyt występują puste przestrzenie, jamy i ubytki gruntu, wymagające uzupełnienia i wzmocnienia. Nośność gruntu była tak ograniczona, że wymagał on wzmocnienia poprzez mikropalowanie palami średnicy 100 mm na głębokość do 6 m. Maksymalna liczba mikropali na płycie o wymiarach $4,0 \times 10,80$ m wynosiła 20 szt., natomiast wolne przestrzenie pod płytami zostały wypełnione poprzez iniekcję zaprawą cementową.



Fot. 5. Mikropalowanie i iniekcja

Problemy związane z pustymi przestrzeniami pod płytą spągową to brak pewności, że:

- wszystkie dziury, jamy i nieciągłości gruntu zostały wypełnione betonem;
- pod ścianami pionowymi tunelu nie ma również nieciągłości gruntu.

Maty wibroizolacyjna

Aby było możliwe zabudowanie maty wibroizolacyjnej na tak nierówną powierzchnię płyt spągowych, należało ich powierzchnie wyrównać – masą betonową lub poprzez frezowanie. Zastosowanie maty było konieczne z uwagi na ograniczenie wpływu drgań mechanicznych na ludzi mieszkających w budynkach położonych w sąsiedztwie tunelu. W projektowanej konstrukcji podtorza przewidziano zastosowanie maty wibroizolacyjnej, ułożonej na płycie podbudowy betonowej i pionowych ściankach bankietów kanalizacji kablowej. Ułożona w ten sposób mata tworzy dla płyty podtorza sprężyste podłoże o określonych cechach, zapewniających wymaganą izolację wibroakustyczną. Podstawowym parametrem, charakteryzującym maty podtorowe, jest ich sztywność statyczna. Wielkość tego parametru zawiera się przeważnie w przedziale od

0,01 N/mm³ do 0,15 N/mm³, a od jego trafego wyboru zależy efekt zmniejszenia wpływu oddziaływania na otoczenie [13]. Z tego też względu zagadnieniu wyboru maty wibroizolacji dla projektowanego układu konstrukcyjnego toru poświęcono wiele działań i analiz. W pierwszej kolejności dokonano obliczeń dynamicznych projektowanej konstrukcji podtorza dla wybranych schematów obciążeń, określając najkorzystniejsze spektrum amplitudowo-częstotliwościowe drgań własnych, zależne od typu zastosowanej maty. Dla tak wybranej maty wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe płyty podtorowej, określając konieczne zbrojenie. Ponieważ płyta podtorowa zachowuje się jak element pływający na macie wibroizolacyjnej o małej sztywności statycznej, dlatego też ilość zbrojenia jest bardzo duża, w porównaniu do takiej samej płyty, lecz ułożonej bezpośrednio na płycie spągowej. Jest bardzo prawdopodobne, że przyjęty rodzaj nawierzchni kolejowej w systemie EBS i ERS (na konstrukcjach odciążających spełniłyby oczekiwania co do poziomu wibroizolacji progów odczuwalności dla ludzi). Projektowanie wibroizolacji polega na dobraniu wymiarów płyty podtorowej (jej masy niesprężynowanej) i parametrów mat wibroizolacyjnych oraz parametrów wibroizolacji w węźle mocowania szyny w taki sposób, aby wyniki obliczeń symulacyjnych zostały potwierdzone w trakcie eksploatacji. Potwierdzeniem tej skuteczności jest otrzymanie wyników na poziomie niższym od wielkości obliczeniowych, co w przypadku tunelu średnicowego się potwierdziło.



Fot. 6. Mata wibroizolacyjna wraz z folią zabezpieczającą

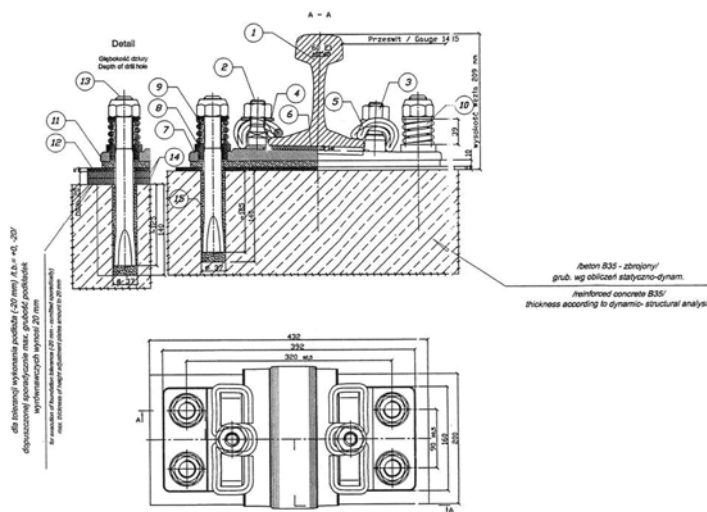
Problemy związane z układaniem maty wibroizolacyjnej:

- możliwość uszkodzenia maty wibroizolacyjnej;
- ułożenie zbrojenia dolnego bezpośrednio na folii;
- regulacja toru dopiero po wykonaniu zbrojenia górnego;
- technologia robót nie zalecana na innych budowach.

W końcowym etapie, dla wybranej maty wibroizolacyjnej, dokonano sprawdzenia oddziaływań na otoczenie, od ruchu pociągów po nowej nawierzchni torowej, na przykładzie budynku przy ul. Smolnej 9, najbardziej narażonego na te wpływy z racji usytuowania względem tunelu. Na tej podstawie wybrano izolator wibroakustyczny systemu PHOENIX, typu S 22-02/A, stosowany dla kolejowych linii normalnotorowych. Charakteryzuje się sztywnością statyczną o wielkości większej niż 0,03 N/mm³, przeznaczony jest dla ruchu pociągów o prędkości mniejszej niż 120 km/h i nacisku osi mniejszym niż 250 kN, ma aprobatę techniczną

IBDM. Wybrana odmiana wibroizolatora to mata podtorowa szerokości 0,65 m, grubości 22 mm i długości do 10,00 m [4]. Układana jest ona na podbudowie i łączona na kształtowy zaczepek, uformowany na krawędziach. Dzięki takiemu łączeniu uzyskiwana jest ciągła powierzchnia, pokrywająca podbudowę bez niekorzystnych szczelin. Wykładanie maty na pionowych ściankach bankietów kablowych wymaga jej przyklejania. Przewidziano wyłożenie matami całej powierzchni projektowanego w tunelu podtorza, oprócz miejsc wykonywania konstrukcji odciążających nad syfonami MPWiK.

Bezpodsypana nawierzchnia kolejowa typu Vossloh system 336



Rys. 8. Węzeł mocowania szyny typu Vossloh system 336 (rozwiązanie niezrealizowane)

- 1 - szyna UIC 60, 2 - śruba mocująca Hs32-55, 3 - nakrętka na śrubę mocującą Hs32-55, 4 - podkładka kołnierkowa Uls 6, 5 - łapka sprężysta Skl 12, 6 - przekładka podszynowa Zw 687, 7 - podkładka żebrowa Rph 49, 8 - izolacyjna tulejka kołnierkowa Fbu 6, 9 - podkładka kołnierkowa Uls 10, 10 - sprężyna Fe 28, 11 - elastyczna przekładka podpodkładkowa Zw 186/10/4, 12 - podkładka Zw 432/200/5, 13 - kotwa As 10 z sześciokątną nakrętką, 14 - regulacja pionowa Hap, 15 - ICOSIT KC 220/60 TX + piasek frakcji 0,4–0,8 mm do wklejania kotew

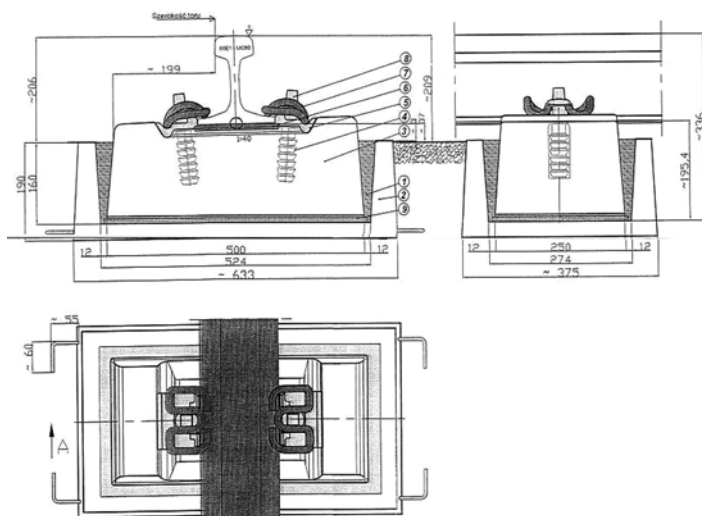
Problemy mocowania szyn (rys. 8):

- duże prawdopodobieństwo ścięcia kotew;
- nieznamy efekt wibroizolacyjności;
- konieczność wywiercenia około 20 tys. otworów w płycie żelbetonowej, symetrycznie w stosunku do otworów w podkładce żebrowej;
- montaż prowadnic na koziołkach musi być dokonany w okienkach między podkładkami żebrowymi;
- duże prawdopodobieństwo uszkodzenia zbrojenia podczas wiercenia otworów w płycie betonowej;
- ograniczona długość kotew.

Bezpodsypana nawierzchnia kolejowa z blokowymi podporami szynowymi w otulinie w systemie Edilon EBS

Opis techniczny

System Edilon EBS (rys. 9) jest kompletnym systemem podpór szynowych stosowanym w nawierzchni kolejowej dla obciążeń osi 225 kN. Może być stosowany z szynami Vignolesa, szynami



Rys. 9. Węzeł mocowania szyny w systemie Edilon EBS

1 - sprężysta otulina podpór blokowych (masa zalewowa Edilon Corkelast), 2 - prefabrykowane gniazdo podpory szynowej, 3 - prefabrykowana betonowa podpora blokowa, 4 - dybel, 5 - podkładka regulacyjna zabezpieczająca szynę przed przesunięciem, 6 - przekładka podszynowa, 7 - łapka sprężysta Skł 12, 8 - wkręt, 9 - przekładka wibroizolacyjna

rowkowymi i dodatkowymi elementami nawierzchni, takimi jak odbojnice, prowadnice lub szyny w zwrotnicach i krzyżownicach rozjazdów. W systemie tym szyny są przytwierdzone do pojedynczych podpór blokowych, zamiast do podkładow drewnianych lub betonowych. Podpory te są stabilne i sprężysto sklejone z betonem podbudowy poprzez warstwę otuliny wykonanej z masy zalewowej, dzięki czemu zbędne jest ich kotwienie do podbudowy. Szyny są przytwierdzone sprężysto do bloku betonowego z wykorzystaniem jednego z wielu systemów przytwierdzeń, dopuszczonych do eksploatacji na kolei, a poprzez otulinę bloki są przyklejone do podstawy, którą zwykle stanowi gniazdo. Gniazdo to może być uformowane w płycie podbudowy albo wbudowane w podbudowę jako prefabrykat betonowy. Na system składają się również dwa elementy, zapewniające sprężyste podparcie szyny:

- przekładka podszynowa, znajdująca się bezpośrednio pod stopką szyny;
- warstwa podlewu o trwałej elastyczności z masy Edilon Corkelast, stanowiąca otulinę, podpierająca i mocująca blok betonowy w gnieździe.

Zamiast podlewu pod blokiem betonowym może być zastosowana sprężysta podkładka wibroizolacyjna, zapewniająca jednoznacznie zdefiniowaną sztywność podparcia każdej podpory. Cały system zapewnia wymaganą sztywność podparcia oraz – związane z tą sztywnością – pionowe ugięcie szyn, nie większe niż 1,0 mm. Duża sprężystość podparcia i mocowania szyn wpływa korzystnie na przenoszenie pionowych i poziomych sił, pochodzących od kół pojazdów szynowych, zmniejszając zużycie szyn [2].

Zastosowanie

System Edilon EBS może być stosowany na liniach kolejowych naziemnych normalnotorowych, podziemnych (np. w tunelach, metrze) oraz na wydzielonych torowiskach tramwajowych, w konstrukcjach bezpodsytkowych z podbudową betonową na podłożu gruntowym o dobrej nośności, na wiaduktach i mostach. Jest dostosowany funkcjonalnie do torów szlakowych i stacyjnych, poło-

zonych na odcinkach prostych i w łukach, w rozjazdach zwyczajnych. Charakteryzuje się dużą skutecznością tłumienia drgań materiałowych (wibracji), pochodzących od kontaktu koła z szyną. Sprężyste posadowienie podpór blokowych i szyn wpływa korzystnie również na redukcję poziomu hałasu emitowanego od ruchu pojazdów szynowych, co jest bardzo ważną cechą w aglomeracjach miejskich, obszarach zurbanizowanych i chronionych obiektach przyrody. System ten ma świadectwo dopuszczenia do eksploatacji typu budowli przeznaczonej do prowadzenia ruchu kolejowego [2].

Właściwości systemu EBS

- Konstrukcja bezpodsytkowa o podbudowie w postaci płyty lub ławy betonowej.
- Sztywność podparcia szyn ustalana odpowiednio do podparcia.
- Prefabrykacja elementów z zastosowaniem różnych systemów przytwierdzeń szyn.
- Odporność podpór na korozję wywołaną przez wilgotne środowisko.
- Wysoka izolacja elektryczna zgodna z wymaganiami ochrony przed prądami błądzącymi.
- Wysoka skuteczność tłumienia wibracji i hałasu.
- Zwiększona trwałość konstrukcji nawierzchni.
- Łatwość utrzymania czystości.



Fot. 7. Zbrojenie górne po ułożeniu maty wibroizolacyjnej i bloczków EBS

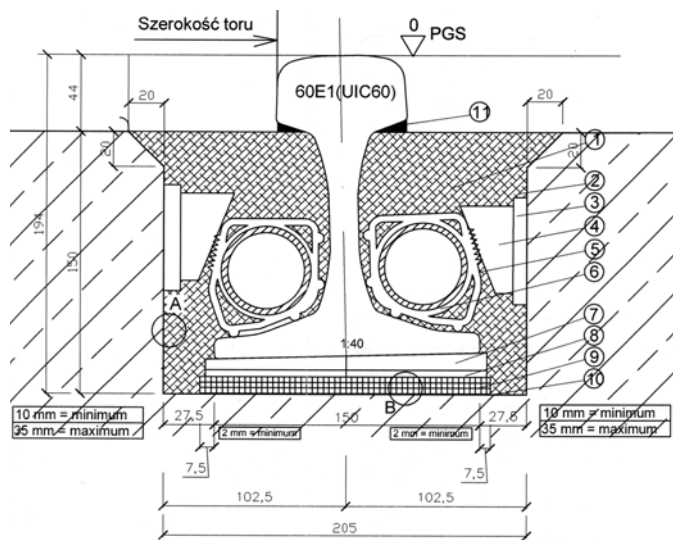
Problemy wykonania systemu EBS:

- montaż na budowie bardzo dużej ilości zbrojenia podłużno-przecznego do uzyskania właściwych parametrów wytrzymałościowych płyty torowej.

Bezpodsytkowa nawierzchnia kolejowa z szynami w otulinie w systemie Edilon ERS

Opis techniczny

System Edilon ERS jest kompletnym systemem ciągłego podparcia i mocowania szyn stosowanym w bezpodsytkowej nawierzchni kolejowej dla nacisków osi 225 kN. Może być stosowany z szynami Vignolesa jak i szynami rowkowymi. W systemie tym szyny umieszczone są sprężysto w betonowych lub metalowych kanałach podbudowy wypełnionych masą zalewową Edilon Corkelast. Ciągłe mocowanie szyn masą zalewową eliminuje ich kotwienie do podbudowy za pomocą połączeń śrubowych. Ciągłe podparcie szyn zapewni sprężystą, pasmową przekładkę podszynową posiadającą bardzo dobre właściwości wibroizolacyjne. Cały system zapewnia wymaganą sztywność podparcia szyn i związane z tym pionowe ugięcie nie większe niż 1,0 mm do 2,5 mm (zależnie od wybranej sztywności masy zalewowej i podkładki podszynowej). Zastosowane elementy klinowe, dystansowe i pod-



Rys. 10. Węzeł mocowania szyny w systemie Edilon ERS

1 - sprężysta otulina podpór blokowych (masa zalewowa Edilon Corke-last), 2 - kanał szynowy, 3 - podkładka pod kliny, 4 - kliny korkowe do regulacji położenia szyny w planie, 5 - profile wypełniające komory łukowe szyny, 6 - rura PCV, 7 - podkładki regulacyjne do korekty wysokości ułożenia szyny, 8 - podkładki punktowe, 9 - ciągła pasmo-wa przekładka podszywna Edilon Resilient Strip 2000, 10 - po-wierzchnie zagruntowane materiałami Edilon Primer

kładki regulacyjne różnej grubości zapewniają bardzo dokładną regulację położenia szyn i jednocześnie prosty technologicznie montaż toru. System ERS zapewnia szczelność między główką szyny i ściankami kanału szynowego (podbudową), a tym samym eliminuje destrukcyjne działanie wody na konstrukcję nawierzchni. Zastosowanie sprężystego podparcia i otulenia szyn zapewnia im dobrą stabilność i trwałość położenia. Na prostych odcinkach toru poziom wypełnienia masą zalewową może znajdować się nawet 50 mm poniżej poziomu główki szyny [2].

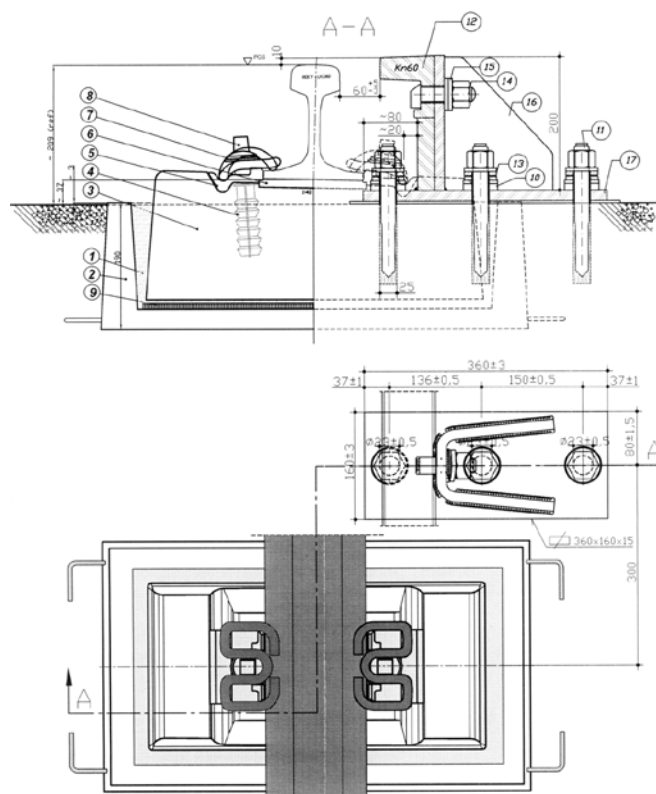
Zastosowanie

System Edilon ERS może być stosowany na liniach kolejowych naziemnych normalnotorowych, podziemnych (np. w tunelach, metrze) oraz w wydzielonych torowiskach tramwajowych i wspólnych z jezdnią, na przejazdach i przejściach dla pieszych, w konstrukcjach bezpodsypkowych z podbudową betonową na podłożu gruntowym o średniej i dobrej nośności, na wiaduktach i mostach. Jest dostosowany funkcjonalnie i estetycznie do torów szlakowych i stacyjnych, położonych na odcinkach prostych i w łukach. Charakteryzuje się dużą skutecznością tłumienia drgań materiałowych (wibracji) pochodzących od kontaktu koła z szyną. Sprężyste posadowienie szyn, a zwłaszcza ich pełne zakrycie masą zalewową, wpływa korzystnie również na redukcję poziomu hałasu emitowanego od ruchu pojazdów szynowych, co jest bardzo ważną cechą w aglomeracjach miejskich, obszarach zurbanizowanych i chronionych obiektach przyrody. Stosowany jest przede wszystkim na odcinkach, na których istotne jest zredukowanie poziomu wibracji i hałasu. System ten ma świadectwo dopuszczenia do eksploatacji typu budowli przeznaczonej do prowadzenia ruchu kolejowego [2].

Właściwości systemu ERS

- Konstrukcja bezpodsypkowa o podbudowie w postaci płyty lub ławy betonowej.

- Ciągłe, sprężyste podparcie i mocowanie szyn eliminujące ich tzw. ugięcie wtórne.
- Sztywność podparcia szyn ustalana odpowiednio do wymagań (ugięcia szyn około 1,5 mm).
- Odporność szyn na korozję wywołaną przez wilgotne środowisko.
- Wysoka izolacja elektryczna zgodna z wymaganiami ochrony przed prądami błądzącymi.
- Wysoka skuteczność tłumienia wibracji i hałasu.
- Zwiększona trwałość konstrukcji nawierzchni.
- Łatwość utrzymania czystości.



Rys. 11. Szczegół mocowania prowadnicy na łuku po zastosowaniu bloczków EBS

Problemy mocowania prowadnicy na łuku (rys. 11):

- duże prawdopodobieństwo uszkodzenia zbrojenia podczas wiercenia otworów w płycie betonowej;
- ograniczona długość kotew;
- indywidualna konstrukcja prowadnicy.



Fot. 8. Tor wyregulowany w planie i profilu, przygotowany do betonowania

Problemy występujące podczas betonowania:

- możliwość uszkodzenia maty wibroizolacyjnej podczas prac zbrojarskich, regulacji toru w planie i profilu;
- pływanie toru podczas betonowania (brak zabezpieczenia poprzez zablokowanie od góry);
- konieczność regulacji zbrojenia (podnoszenie) po regulacji toru.

Problemy występujące podczas mocowania prowadnicy (rys. 12):

- konieczność wiercenia otworów pod kotwy w żelbetowej płycie odciążającej;
- duże prawdopodobieństwo uszkodzenia zbrojenia podczas wiercenia otworów w płycie;
- brak możliwości regulacyjnych szerokości żłobka między szyną a belką prowadnicy;
- możliwość ścięcia kotew.

Wnioski

1. Ostatecznie przyjęte rozwiązanie nawierzchni niekonwencjonalnej (mocowanie szyny w systemie EBS i ERS) w tunelu linii średnicowej w Warszawie pozwala stwierdzić słuszność przyjętych założeń i dobrze rokuje w zastosowaniu przy remoncie i budowie kolejnych układów torowych.

2. Wykonane badania przenoszenia drgań na sąsiednie budynki i budowle, znajdujące się w pobliskiej strefie oddziaływania, po-

twierdzą słuszność wykonania nawierzchni niekonwencjonalnej z zastosowaniem podwójnego stopnia wibroizolacji.

3. Pozostają nadal do sprawdzenia inne rozwiązania konstrukcyjne nawierzchni szynowej w naszych warunkach, tj. węzeł mocowania szyny:

- w systemie Edilon EBS, oparty na płycie podtorowej bez zastosowania maty wibroizolacyjnej między płytą podtorową a podbudową betonową;
- systemu Vossloh 336 z zastosowaniem maty wibroizolacyjnej między płytą podtorową a podbudowa betonową.

4. Skuteczność wibroizolacji zależy od doboru jej parametrów wytrzymałościowych dla przeważającego rodzaju ruchu komunikacyjnego. □

Literatura

- [1] *Projekt budowlany remontu tunelu średnicowego w Warszawie opracowany przez BP METROPROJEKT w Warszawie w latach 2003–2006.*
- [2] *Materiały promocyjne firmy TINES.*
- [3] *Materiały promocyjne firmy VOSSLOH.*
- [4] *Materiały promocyjne firmy PHOENIX.*
- [5] Ciesielski R.: *Ocena szkodliwości wpływów dynamicznych w budownictwie.* Arkady, Warszawa 1973.
- [6] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., Mastowski R., Pieronek M., Stypuła K.: *Komentarz do normy PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”.* COBPBO–Warszawa, Warszawa, 1988.

[7] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., Stypuła K.: *Ocena diagnostyczna skutków wpływów drgań na budynki i ludzi w budynkach.* Inżynieria i Budownictwo 9/1993, s. 390–394.

[8] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: *Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach (Diagnostyka dynamiczna).* ITB, Warszawa 1993.

[9] Ciesielski R., Maciąg E.: *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki.* WKŁ, Warszawa 1990.

[10] Ciesielski R., Stypuła K., Koziół K.: *Analiza zastosowania wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni kolejowej w tunelu średnicowym w Warszawie z uwagi na konieczność ograniczenia wpływu drgań mechanicznych na ludzi w budynkach położonych w sąsiedztwie tunelu.* Kraków 2004.

[11] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem.* PWN, Warszawa 1993.

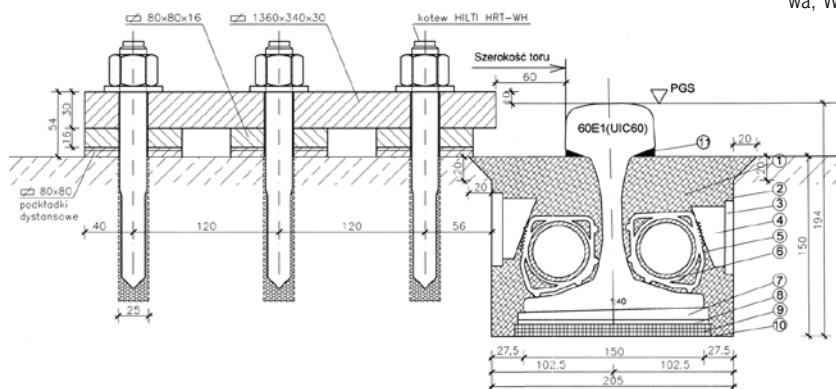
[12] Oleksiewicz W.: *Konstrukcja nawierzchni w metrze warszawskim.* Drogi Kolejowe 4-5/1990.

[13] PN-85/B-02170. *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.*

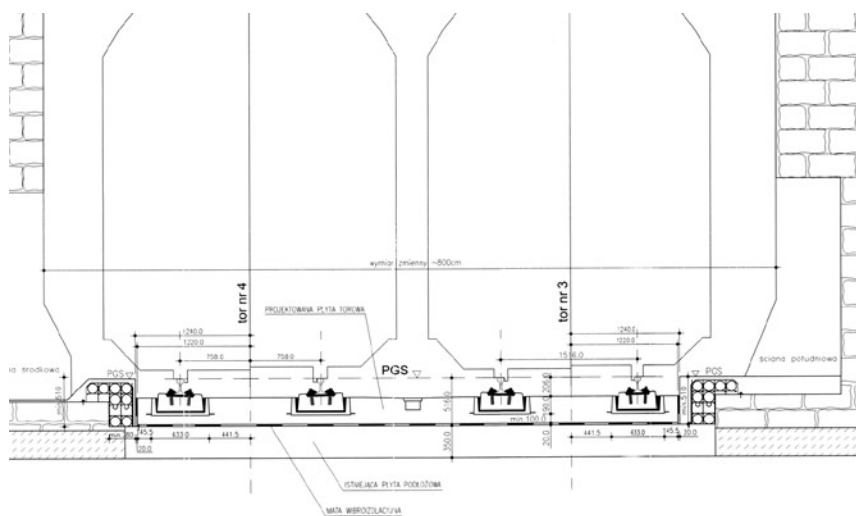
[14] PN-88/B-02171. *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.*

[15] *Badania wpływu na otoczenie (budynki) drgań wywołanych przejazdami pociągów w tunelu średnicowym w Warszawie (część dalekobieżna i podmiejska) dla dotychczasowego rozwiązania konstrukcji nawierzchni kolejowej.* Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.

[16] *Materiały archiwalne z zasobów Archiwum Państwowego w Warszawie.*



Rys. 12. Szczegół mocowania prowadnicy na konstrukcji odciążającej galerii MPWiK po zastosowaniu mocowania szyny systemu ERS



Rys. 13. Przekrój poprzeczny tunelu