



Ryc. 1. Estakada od strony dworca PKS

Wybrane problemy projektowania łożysk i dylatacji w estakadzie o nieregularnym kształcie

- prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej
- dr inż. Zbigniew Skoplak, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej

Stosowanie zasady, że geometria obiektu mostowego powinna być dostosowana do trasy drogi, a ta z kolei ma spełniać wymogi funkcjonalne, powoduje konieczność budowy konstrukcji o skomplikowanych kształtach. Taki przypadek miał miejsce przy projektowaniu i budowie estakady w ciągu ul. Wita Stwosza w Krakowie. Ulica ta jest elementem trasy centralnej miasta biegnącej m.in. obok Dworca Głównego PKP i dworca PKS.

Szczególony wpływ na rozwiązanie drogowe miały problemy własnościowe i związana z tym szczupłość terenu przeznaczona na cele komunikacyjne. Ważne było także sąsiedztwo parkingu samochodowego nad peronami dworca PKP oraz ogród Karmelitów Bosych, a także fakt, że nowy dworzec PKS jest dwupoziomowy. Uwarunkowania te sprawiły, że trasa na długości estakady niemalże w całości składa się z odcinków krzywoliniowych. Jeżeli występują odcinki proste w planie, to są one położone na długości łuku pionowego.

Ograniczenia terenowe oraz sąsiadujące obiekty wymusiły przestrzenny przebieg trasy drogowej (ulicy). Miało to bezpośredni wpływ na rozwiązania konstrukcyjne estakady. Konieczność

prowadzenia ulicy w łukach pionowych i poziomych (różnych promieni) zadecydowała o wyborze konstrukcji betonowej monolitycznej, umożliwiającej łatwe realizowanie elementów o skomplikowanych kształtach.

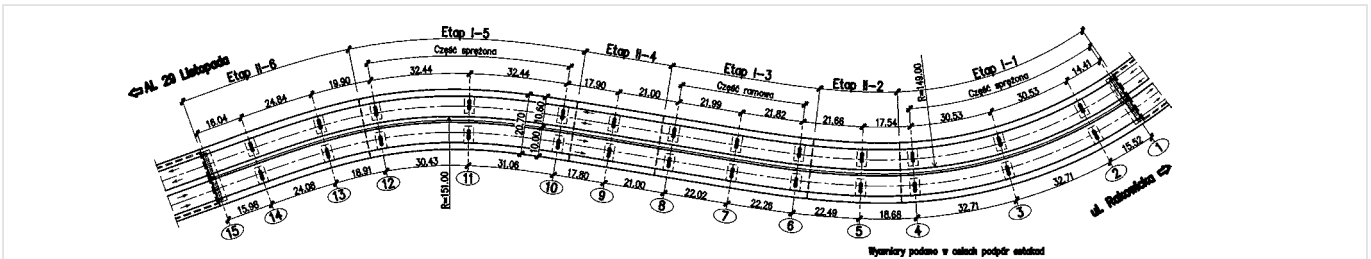
W konsekwencji omawiana estakada jest położona w przestrzeni (łuki pionowe i poziome oraz krzywe przejściowe). Tak musiała być obliczana oraz budowana. Przy obecnym stanie techniki i możliwościach materiałowych, a także wyspecjalizowanej kadrze nie ma problemu z projektowaniem i budową takich obiektów. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę, że wymaga to rozwiązywania zagadnień, które nie występują w przypadku mostów prostych. W artykule zwrócono uwagę na problemy związane z doбором łożysk

i urządzeń dylatacyjnych omawianej estakady na etapie projektowania.

1. Podstawowe dane techniczne

Analizowany obiekt jest estakadą czternastoprzęsłową o długości całkowitej $l_c = 326,12$ m. Rozpiętości poszczególnych przęseł w osi drogi wynoszą $l_1 = 14,86 + 2 \times 31,41 + 18,00 + 3 \times 22,00 + 21,00 + 17,86 + 31,89 + 31,63 + 19,50 + 24,53 + 16,02$ (por. ryc. 2). Całkowita szerokość obiektu jest równa 20,70 m (por. ryc. 2). Składają się na nią dwie rozdzielone jezdnie, usytuowane na dwóch oddzielnych konstrukcjach przęseł, wspartych na rozdzielonych podporach. Klasa obciążenia A według PN-85/S-10030 [1].

Podział na przęsła był uwarunkowany rozwiązaniem geometrycznym



Ryc. 2. Rzut z góry obiektu i rozwiązanie sytuacyjne ulicy na jego długości

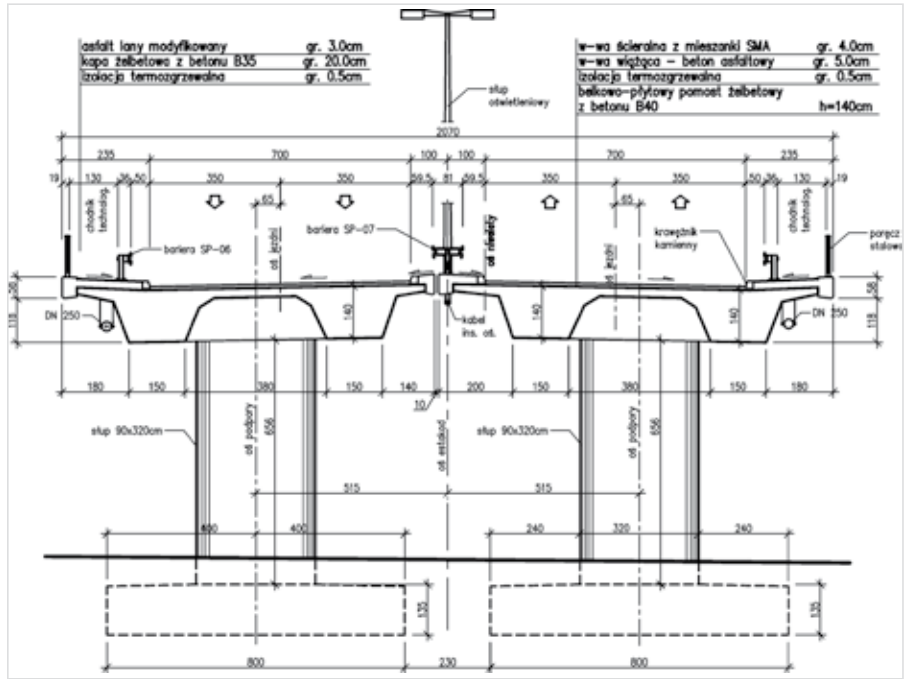
jezdni dolnych, prowadzących przede wszystkim ruch autobusów na obydwie poziomy dworca PKS oraz prywatnych przewoźników, a także ruch osobowy na parking nad peronami dworca PKP. Najważniejszym z tych uwarunkowań były dwa rondo znajdujące się pod estakadą (por. ryc. 4 i 5).

Po analizie uwzględniającej przebieg trasy, otaczającą zabudowę oraz koszt realizacji estakady wybrano rozwiązanie przeszeli i podpór w wersji betonowej. O wyborze konstrukcji betonowej belkowej zadecydowały także rozpiętości przeszeli (uzależnione od rozwiązania sytuacyjnego jezdni dolnych i rond) oraz krzywizny pionowe, a zwłaszcza poziome.

Ze względu na różne rozpiętości przeszeli wykonano je z betonu sprężonego (przeszela 1-2, 2-3, 3-4) oraz jako żelbetowe (pozostałe przeszela). Dodatkowo przeszela 6-7 i 7-8 wykonano jako ramowe, co spowodowało zmniejszenie wartości dodatnich momentów przeszelowych. Poza tym układ ramowy był potrzebny dla przeniesienia wzdłużnych sił poziomych. Opisane rozwiązania konstrukcyjne umożliwiły przyjęcie stałej wysokości przeszeli na całej długości estakady pomimo dużego zróżnicowania rozpiętości przeszeli (rozpiętość przeszeli najkrótszego stanowiła 56% rozpiętości przeszeli najdłuższego).

Usytuowanie estakady w planie charakteryzują następujące dane (podawane w kolejności występowania, licząc od strony skrzyżowania ul. Lubomirskiego z ul. Rakowicką – por. ryc. 3): krzywa przejściowa (KP) – $A = 101,96$, $l = 1,49$ m; łuk kołowy (ŁK) – $R = 149,00$ m, $l = 77,28$ m; KP – $A = 101,96$, $l = 69,76$ m; prosta (PR) – $l = 40,88$ m; KP – $A = 87,03$, $l = 50,17$ m; ŁK – $R = 151,00$ m, $l = 50,17$ m; KP – $A = 97,03$ m, $l = 50,16$ m; PR – $l = 9,63$ m.

Konstrukcję przeszeli pod każdą jezdnią stanowią dwie belki o szerokich średnicach (por. ryc. 3) oraz płyta pomostu z dwoma wspornikami. Geometria belek i płyty pomostu z dwoma wspornikami jest krzywoliniowa w planie – dostosowana do przebiegu trasy drogowej. Wysokość przeszeli jest stała na długości (por.



Ryc. 3. Typowy przekrój poprzeczny estakady



Ryc. 4. Rondo przy wjeździe na górny poziom (górną platformę) dworca PKS i parking nad peronami dworca PKP. Po prawej stronie estakada dojazdowa (kolor niebieski) na parking nad peronami dworca PKP. W tle budynki PKP i dworca PKS

ryc. 1 i 6) i wynosi (wraz z płytą pomostu) 1,40 m. Szerokość średnic jest stała na długości obiektu, a na wysokości zmienia się od 1,50 m na powierzchni dolnej do 2,40 m na poziomie spodu płyty pomostu.

Przyczółki estakady są żelbetowe, masywne, o grubości 1,00 m, posadowione bezpośrednio na warstwie piasków o następujących parametrach: $I_D = 0,50$, $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 17,5$ kN/m³. W celu zminimalizowania zagrożenia powstania rys skurczowych korpusy przyczółków są dwuczę-

ściowe, z dylatacją w połowie szerokości (por. ryc. 7). W górnej partii przyczółków wykształcony jest oczep o szerokości 2,10 m. W oczepie umiejscowione są nisze i ciosy podłożyskowe, a także nisze na siłowniki, które mogą być wykorzystane przy ewentualnej wymianie lub rektyfikacji położenia wysokościowego łożysk.

Również filary są posadowione bezpośrednio. W każdym filarze zastosowano oddzielny fundament. Korpusy filarów zaprojektowano w formie słupów o prze-



Ryc. 5. Estakada nad rondem od strony ul. Lubomirskiego (obok wlot do budowanego tunelu drogowego pod peronami dworca PKP)



Ryc. 6. Estakada od strony dworca PKS



Ryc. 7. Przyciółek – widoczne elementy odwodnienia jezdnii i dylatacja oraz łożyska, w tym łożysko kierujące (pod poprzeczną)

kroju owalnym (por. ryc.1 i 6) wpisanym w prostokąt 3,20 * 0,90 m. Podobnie jak w przypadku przyciółków, również na filarach przewidziano możliwość ustawięcia siłowników.

2. Analiza doboru łożysk i dylatacji

W prostych obiektach mostowych o wyborze rodzaju i typu łożysk decydują przede wszystkim wartości reakcji pionowych. Ich rozmieszczenie również jest zdeterminowane przebiegiem niwelacji oraz ewentualnie kierunkiem ruchu (prześla mostów kolejowych, rozdzielone jezdnie i konstrukcje mostów drogowych). W przypadku analizowanej estakady decydowały wartości sił poziomych. Pochodziły one od hamowania i przyspieszania taboru samochodowego oraz od sił odśrodkowych i skutków odkształceń termicznych. Nie bez znaczenia były łuki poziome oraz ukosy przęseł wynikające z przebiegu estakady w planie.

W analizowanym obiekcie szczególnie istotne były siły spowodowane odkształceniami termicznymi konstrukcji przęseł. Złożyły się na to dwa czynniki: duża długość obiektu (odległość między dylatacjami) oraz zakrzywienie w pionie i poziomie. Szczególnie istotny okazał się wpływ zróżnicowanych krzywizn konstrukcji nośnej na końcach wiaduktu.

W pierwszej fazie projektowania łożysk zastosowano podejście klasyczne. Na każdej podporze przewidziano jedno łożysko wielokierunkowo przesuwne i jedno łożysko jednokierunkowo przesuwne o kierunku przesuwu stycznym do osi estakady. Podparcie stałe (nieprzesuwne) zapewniał dwuprzęsłowy układ ramowy. Analiza statyczna łożysk dobranych ze względu na reakcje pionowe wykazała, że jest znacznie przekroczona ich nośność na siły poziome. Siły te pochodzą od hamowania i przyspieszania taboru oraz ograniczenia przemieszczeń od zmian temperatury. Ograniczenia te wynikają ze zróżnicowania kierunków przemieszczeń termicznych oraz kierunków ustawienia

łożysk. Maksymalna siła pozioma przypadająca na jedną parę łożysk wyniosła 1500 kN.

W drugiej fazie projektowania łożyska typowe dobrano ze względu na siły poziome. Przy tak dobranych łożyskach ich nośność na obciążenia pionowe była wykorzystana w niecałych 50%. Takie rozwiązanie uznano za nieracjonalne z ekonomicznego punktu widzenia. Dodatkowym, równie ważnym argumentem były zbyt duże przemieszczenia poprzeczne dylatacji.

Wobec powyższego zdecydowano się na zastosowanie na wszystkich filarach, poza układem ramowym, dwóch łożysk garnkowych wielokierunkowo przesuwnych, dobranych ze względu na obciążenia pionowe. Stabilizację poziomą konstrukcji nośnej dla kierunku poprzecznego uzyskano przez zastosowanie dodatkowych, specjalnie zaprojektowanych łożysk jednokierunkowo przesuwnych ze swobodą obrotu w poziomie, pracujących wyłącznie na siły poziome. Tak zaprojektowane łożyska kierujące umieszczono tylko na przyciółkach w osi podpór. Kierunek przesuwu tych łożysk przyjęto prostopadły do dylatacji.

Przyjęty układ łożysk oraz zakrzywienie wiaduktu w planie wymagały kompleksowego rozwiązania problemu dylatacji na przyciółkach. Ze względu na dużą długość obiektu konieczne było zastosowanie dylatacji blokowych. Dylatacje te nie są przygotowane do dużych przemieszczeń poprzecznych przęseł względem przyciółków. Stąd też dodatkowym zadaniem specjalnych łożysk kierujących na podporach skrajnych (przyciółkach) było „zmuszenie” końców przęseł do przemieszczeń termicznych prostopadłych do dylatacji.

W wyniku działania obciążeń poziomych oraz oddziaływań termicznych wystąpiły niewielkie przemieszczenia poziome poprzeczne końców przęseł. Były one następstwem obrotu konstrukcji w płaszczyźnie prostopadłej do osi

pionowych łożysk specjalnych. Przemieszczenia te mieściły się w granicach dopuszczalnych dla zastosowanego typu dylatacji. W przypadku braku ograniczenia przemieszczenia poziome konstrukcji przeszła przy przyciółku wyniosłyby +/- 70 mm.

3. Uwagi i wnioski końcowe

W artykule opisano sposób doboru łożysk i urządzeń dylatacyjnych w estakadzie drogowej, której cechą charakterystyczną jest skomplikowana geometria wynikająca z rozwiązania komunikacyjnego i drogowego, a także problemów własnościowych, które w dużym stopniu wymusiły przebieg ulicy w planie.

Największy wpływ na dobór wymienionych elementów miały łuki poziome i zmienność ich parametrów na długości obiektu oraz łuki pionowe i krzywe przejściowe. Dodatkowe utrudnienia w projektowaniu i budowie obiektu wynikały z rozwiązań drogowych na poziomie terenu (pod i obok wiaduktu). Konsekwencją tych rozwiązań było zastosowanie mieszanego układu konstrukcyjnego; ramowego i belkowego (belki ciągłe) oraz przęseł żelbetowych i sprężonych, które również wpływały na dobór łożysk.

Klasyczne postępowanie przy projektowaniu łożysk prowadziło do bardzo dużego ich przewymiarowania na obciążenia pionowe. Wówczas konieczne byłoby również „przewymiarowanie” dylatacji ze względu na przemieszczenia poprzeczne, których nie byłyby w stanie „przenieść” dylatacje wymiarowane na przemieszczenia podłużne. Sposób rozwiązania problemu podano w rozdziale 2.

Estakadę budowała firma Budostal-5 SA z Krakowa. Projekt wykonał Mostoprojekt Sp. z o.o. w Krakowie.

Literatura

[1] PN-85/S-10030. *Obiekty mostowe. Obciążenia.*

ZDJĘCIA: POLITECHNIKA KRAKOWSKA