

$$f_0 = \sqrt{t_0^{*2} + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \sqrt{46,824^2 + \left(\frac{90}{2}\right)^2} = 12,94 \text{ m}$$

$$\Delta f_0 = f - f_0 = 13,00 - 12,94 = 0,06 \text{ m}$$

Dalsze, nieprzewidziane zachowanie budowli, wyniknęło z pęcznienia betonu. Dziś wiemy, że spowodowany nim przyrost odkształceń opóźnionych – przy współczynniku pęcznienia $\varphi = 2,0 \div 2,5$ – zwiększyłby deformacje natychmiastowe współczesnych betonów co najmniej trzy... trzyipółkrotnie, więc skrócenie łuku (Δs_∞) wyniosłoby odpowiednio:

$$\Delta s_\infty = (1 + \varphi) \Delta s_0 = [1 + (2,0 \div 2,5)] \times 0,016 = 0,048 \div 0,056 \text{ m}$$

$$t_\infty^* \cong t - \Delta s_\infty = 46,84 - (0,048 \div 0,056) = 46,792 \div 46,784 \text{ m}$$

$$f_\infty = \sqrt{[(t_\infty^*)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2]} - \sqrt{(46,792 \div 46,784)^2 - \left(\frac{90}{2}\right)^2} \cong \\ \cong 12,825 \div 12,796 \text{ m}$$

skutkując dalszym opadaniem zwornika do wielkości:

$$\Delta f_\infty = f - f_\infty = 13,00 - (12,825 \div 12,796) = 0,17 \div 0,20 \text{ m.}$$

Sztywna rynna pomostu z monolitycznie połączonymi balustradami utrudniała opadanie zwornika i prawdopodobnie uległa niszczeniu. Maillart, świadomy skutków skrępowanego przemieszczania zwornika, zdecydował powrócić do swej koncepcji trójprzegubowego ustroju nośnego i zdylałował pomost w miejscu zwornika, co spowodowało nagły przyrost jego przemieszczeń pionowych – wspomniane na wstępie „tąpnięcie”.

Wady układu odwodnienia – spływ wody deszczowej w ciepłych miesiącach roku i solanki w zimie na łuk otworami w balustradzie, niedoskonałości izolacji przeciwwilgociowej pomostu i zbyt małe otuliny prętów spowodowały pogorszenie parametrów wytrzymałościowych w obszarze zwornika wskutek stałego zawilgocenia, mogły zwiększyć opadanie zwornika łuku i wymusiły naprawy mostu w latach 1975/76, a następnie w latach 1991–1998.

W 1991 roku most Salignatobel został uhonorowany przez ASCE (American Society of Civil Engineers) tytułem World Monument – pomnika światowej inżynierii, a wcześniej został uznany przez Szwajcarów za dziedzictwo o znaczeniu krajowym.

Odwiedzenie tej ciekawej budowli było w programie ubiegłorocznej wyprawy mostowej Politechniki Krakowskiej do alpejskich krain Włoch, Francji i Szwajcarii – niestety los pokrzyżował plany. Jeśli uda się tam trafić w przyszłości, to warto przyłożyć oko do wierzchu poręczy i spojrzeć wzdłuż mostu. Pozwoli to odkryć, czy prócz zapadnięcia zwornika łuku nie powstało np. wychylenie go z płaszczyzny pionowej. Stosunek szerokości pomostu do rozpiętości jest nieduży, a beton mógł być niejednorodny w przekroju poprzecznym łuku. I tak jak w życiu, tak i w mostownictwie – niepowodzenia, choćby drobne, bywają bardziej kształtujące od sukcesów.

Bibliografia

- [1]

ANDRZEJ STAŃCZYK

Warbud SA
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

Prawdopodobna przyczyna zniszczenia wiaduktu „Polcevero” w ciągu autostrady A10 w Genui

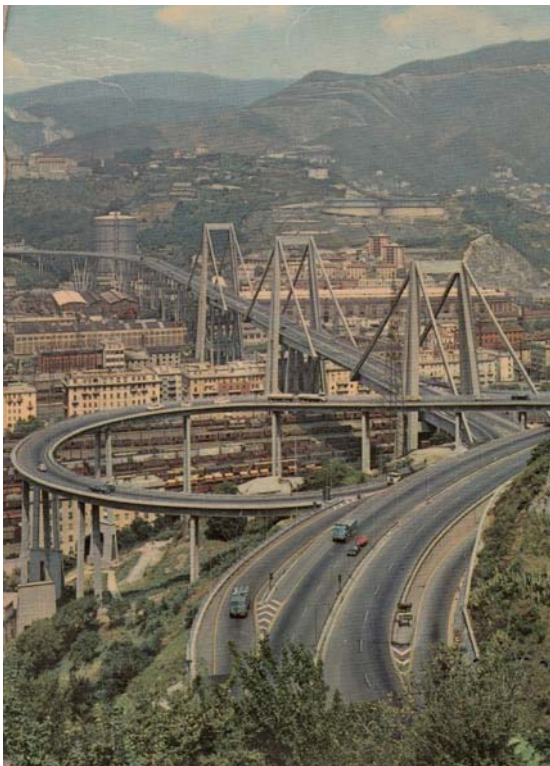
Być może jest niestosowne mieć odrębne zdanie od autorytetów mostownictwa pierwszej próby, którzy już wypowiedzieli się na temat przy-

czyn genueńskiej tragedii, lecz jako inżynier powinienem być przekonany... a nie jestem. I mam na ten temat odrębne zdanie. Spróbuję przedstawić je i uzasadnić, opierając się na wyglądzie mostu ze starej pocztówki i na informacji z telewizyjnych dzienników o tym, że w chwili katastrofy na moście znajdowały się trzy duże TIR-y. Z układu ruin można domniemywać, że pękło pierwsze cięgno, nie licząc cięgna przy sąsiedniej konstrukcji dojazdowej – nieobciążonego wjeżdżającymi TIR-ami (na fotografii drugie od lewej). Prawdopodobnie więc TIR-y wjeżdżały od tej strony.

Całkowita długość mostu wynosiła 1102 m, szerokość jezdni 18 m, najdłuższe przęsło 207,88 m. Podwieszenie cięgnami nachylonymi pod kątem około 45° podzieliło najdłuższe przęsła na trzy odcinki o mniej więcej równej długości – po około 70 m – wystarczającej by trzy TIR-y jadące bocznym pasem w kilkudziesięciometrowych odległościach obciążyły głównie to jedno cięgno.

Z wyglądu mostu widać, że cięgna podwieszenia (nieśluszenie nazywane wantami, bowiem wanty podtrzymują maszt łodzi... w tym przypadku pylon – a jest wręcz przeciwnie) zostały obetonowane. Wymiary przekroju poprzecznego tej betonowej otoczki są podejrzanie duże w porównaniu z przekrojami pylonów przenoszących przecież znacznie większe obciążenia i to ściskające – skutkujące wybocze-

niem. Stąd domniemanie, że służyły nie tylko jako otulina zabezpieczająca przed korozją, ale do czegoś jeszcze... spróbujmy dociec do czego?



Fot. 1. Wiadukt Polcevero wg. projektu Prof. Riccardo Morandiego

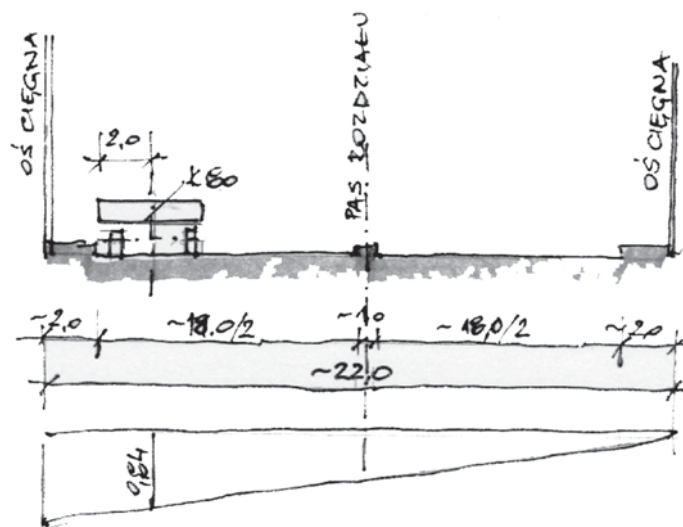
Gdyby cięgna były tylko obetonowane, to przy obciążeniu użytkowem każdym pojazdem powstawałyby pęknięcia poprzeczne tego betonu wskutek jego rozciągania. **Najprawdopodobniej więc, po podwieszeniu przęseł na cięgnach i stwardnieniu betonowej otoczki, zostały one naprężone dodatkową siłą wynikającą z przewidywanych, dalszych obciążeń statycznych i użytkowych.**

Jeśli to przypuszczenie jest słuszne – a dziwiłbym się, gdyby twórca mostu dozwolił na pęknięcie rozciąganego betonu – to, po przyłożeniu do cięgien siły rozciągającej większej niż to „dodatkowe” sprężenie, nastąpiłby **nagły wzrost wydłużeń cięgna i „skokowy” przyrost ugięcia przęsła**. Sztywność cięgna – dotychczas zespolonego ze ściskanego betonu i stali cięgien – w chwili dekompresji betonu (zarysowania) nagle dramatycznie maleje – siły przenosi tylko stalowa część przekroju. Efektem jest nagły wzrost ugięć, powodujący dynamiczne uderzenie porównywalne ze zjazdem z progu o podobnej wysokości. Jak duży byłby ten przyrost ugięcia? Jak mocne „uderzenie”?

„Nasz” polski, normowy pojazd K o masie 800 kN, jadący samotnie (jeden na całym obiekcie), bocznym pasem – w odległości 2,0 m od krawężnika, wywołałby w cięgnię siłę blisko 100 T, a mianowicie:

$$N \cong [(22,0/2 + 0,50 + 18,0/2 - 2,0)/22] \times 800/\cos 45^\circ = 0,84 \times 800/0,707 \cong 950 \text{ kN}$$

Można być pewnym, że trzy TIR-y miały łącznie większą masę od „naszego”, pojedynczego pojazdu K.



Rys. 1. Szkic rozdziału poprzecznego obciążenia użytkowego na cięgno

Przybliżony przekrój stalowych cięgien można ocenić znając ciężar przęseł i na tej podstawie określić nagły przyrost ugięcia – wysokość „progu”. Intuicja podpowiada, że może to być około 10 cm. Gdyby bowiem obciążenia stałe niekonstrukcyjne i obciążenia użytkowe „zużywały” tylko 10% nośności cięgien, to wydłużenie cięgien stalowych ΔL wyniosłoby:

$$\Delta L = PL/EA$$

gdzie:

- długość cięgna: $L = 70,0/\cos 45^\circ \cong 100 \text{ m}$,
- naprężenia rozciągające cięgno: $P/A \cong 0,10 \times 1500 = 150 \text{ MPa}$,
- moduł sprężystości podłużnej cięgna: $E \cong 180000 \text{ MN/m}^2$.

Stąd wydłużenie cięgna wyniesie: $\Delta L = 100 \times 150/180000 = 0,083 \text{ m}$, a spowodowany tym przyrost ugięcia przęsła wyniosłby: $\Delta y \cong \Delta L/\sin 45^\circ = 0,083/0,707 = 0,12 \text{ m}$.

Część tego ugięcia narastała powoli, aż do przekroczenia siły sprężającej betonową część cięgien. Dalsza wystąpiła raptownie i tego stara, użytkowana przez ponad pół wieku konstrukcja, już nie wytrzymała.

Pół wieku to długi czas na kumulowanie drobnych urazów, zmniejszających wytrzymałość konstrukcji – dwa miliony cykli dużych zmian wytrzymałości elementów mostu powstałoby przy stu przejazdach dziennie pojazdów ciężkich, lecz nie powodujących dekompresji betonowej otoczki cięgien. Pewne jest, że spadek z takiego progu masy przewyższającej 100 T być może znacznie, powoduje uderzenie wystarczające do zniszczenia cięgna i w efekcie – przęsła wiaduktu.

Spekulacje te są tylko hipotezą. Wyjaśnienie rzeczywistych przyczyn rozpozna komisja badająca przyczyny katastrofy. Na pewno ustali ona masę TIR-ów i ich położenie wśród ruin wiaduktu.