

ANALIZA NOŚNOŚCI ŻELBETOWYCH ELEMENTÓW PREFABRYKOWANYCH PO ICH ZARYSOWANIU WSKUTEK USZKODZENIA ŚCIĄGÓW MONTAŻOWYCH¹

Marcin GRACZYK*, Piotr TOMALA**

*)ViaCon Construction Sp. z o.o.

**)ViaCon Polska Sp. z o.o.

W artykule przedstawiony zostanie przypadek wyjątkowego obciążenia obiektu inżynierskiego stanowiącego przejście dla zwierząt dziko żyjących. W szczegółach opisane zostaną wybrane elementy wymiarowania oraz proces budowy żelbetowego obiektu inżynierskiego z elementów prefabrykowanych Con/Span. Na etapie realizacji przedmiotowego obiektu doszło do incydentu gdzie samochód ciężarowy uderzył w ściąg montażowy. W wyniku uderzenia zerwanych zostało 34 szt. ściągów na 18 elementach nośnych przęsła oraz stwierdzono widoczną deformację ściągów na 3 pozostałych prefabrykatakach. Na skutek tego ściany prefabrykatów doznały przemieszczeń poziomych których to skutki oraz zostaną opisane w dalszej części artykułu.



Rys. 1. Zerwane ściąg na wlocie obiektu

Podczas inwentaryzacji prefabrykatów naruszonych w zdarzeniu stwierdzone zostało, że w skutek nagłego zerwanie prętów doszło do rozsunięcia się „nóg” ramy, co na jej dolnej powierzchni zaowocowało pojawieniem się rys. Największa rysa jaką udało się

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2018.26.06

zinwentaryzować miała 0,25 mm rozwartości. Zauważono również, że pomimo zerwania prętów rysy nie pojawiły się na elementach zabezpieczonych wcześniej podlewką.

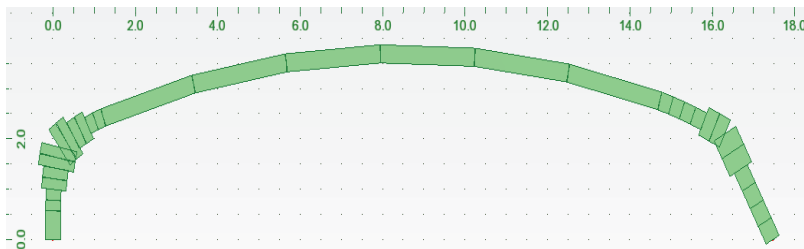


Rys. 2. Zarysowania poszczególnych elementów nośnych przęsła

W wyniku przeprowadzonej analizy statyczno- wytrzymałościowej stwierdzono że w wyniku zaistniałego zdarzenia doszło do poziomego przemieszczenia pochyłej nogi elementu nośnego wywołując dodatkowe momenty zginające. Dokonano sprawdzenia czy w prefabrykacie nie doszło do przekroczenia naprężeń granicznych zarówno w betonie jak i stali zbrojeniowej.



Rys. 3. Model obliczeniowy



Rys. 4. Wykres sił osiowych oraz momentów zginających od obciążeń stałych i wymuszenia $\Delta = 6\text{cm}$

Wykazano że przy zaistniałych wartościach wymuszenia nie ma obaw co do stanu granicznego nośności, a powstałe rysy o ile nie przekraczają wartości dopuszczalnych są dla konstrukcji żelbetowych zjawiskiem naturalnym i nie powinny wzbudzać niepokoju.

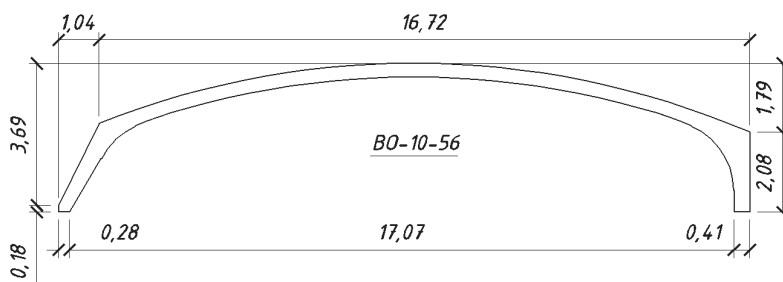
1. WPROWADZENIE

Konstrukcje prefabrykowane Con/Span to układ wzajemnie ze sobą powiązanych elementów, które służą do budowy mostów, wiaduktów, przejść ekologicznych, przejść dla pieszych itp. W skład tego systemu wchodzi następujące elementy: fundamenty żelbetowe Express Foundation, elementy ustroju nośnego w postaci powłok żelbetowych o konstrukcji ramowej z rygłem w kształcie wycinka łuku kołowego oraz pochylonymi ścianami, prefabrykowane ściany czołowe jak również skrzydła. Przekrój poprzeczny obiektu inżynierskiego dobierany jest w zależności od wymaganej skrajni, światła obiektu oraz wymaganej nośności konstrukcji. Każdorazowo określone zostają parametry charakterystyczne dla konkretnego projektu takie jak: rozpiętość, wysokość, pole powierzchni przekroju poprzecznego, grubość elementu, szerokość prefabrykatu, stopień zbrojenia.



Rys. 5. Widok z lotu ptaka na obiekt WD-27

Dnia 27.11.2017 na obiekcie WD-27 w ramach realizowanego odcinka drogi ekspresowej S8 na obwodnicy Ostrowi Mazowieckiej samochód ciężarowy wjechał pod budowany wiadukt z prefabrykatów żelbetowych Con/Span co doprowadziło do zerwania części prętów zabezpieczających (ściągów) prefabrykaty.



Rys.4. Gabaryt konstrukcji

Zwolnienie zabezpieczeń skutkowało niekontrolowanym zwiększeniem rozpiętości konstrukcji co doprowadziło do zarysowania elementów żelbetowych. Podczas oceny wzrokowej stanu konstrukcji zauważono zerwanie 34 prętów zabezpieczających na 18 elementach oraz widoczną deformację ściągów na 3 kolejnych prefabrykatach. W trakcie zdarzenia 10 pierwszych elementów nie miało wykonanej podlewki zabezpieczającej na podporach.



Rys. 6. Widok na podporę elementu z podlewką i bez podlewki

W związku z tym zerwanie ściągów stalowych spowodowało rozejście się nóg o wartość sięgającą nawet do 6 cm. Skutkiem tego było obniżenie się klucza konstrukcji. Podczas inwentaryzacji prefabrykatów naruszonych w wyniku zdarzenia wykazano, że w skutek nagłego zerwania prętów, na dolnej stronie elementów żelbetowych powstały rysy. Największa rysa jaką udało się zainwentaryzować miała 0,25 mm rozwartości. Zauważono również, że pomimo zerwania prętów rysy nie pojawiły się na elementach zabezpieczonych wcześniej podlewką.



Rys. 7. Różnice przemieszczenia pomiędzy elementem zabezpieczonym i niezabezpieczonym

Pręty montażowe w trakcie montażu są kluczowym elementem konstrukcji i mają na celu zabezpieczenie elementu prefabrykowanego przed niekontrolowanym rozejściem się nóg, lecz również kontrolę nad utrzymaniem wymiarów produkcyjnych. W opisanym przypadku przemieszczenie $\Delta = 6$ cm wzbudziło moment zginający dolnych włókien przekroju co w konsekwencji spowodowało zarysowania o przeważających wartościach rozwarcia powyżej 0,1 mm jednak nieprzekraczające 0,25mm. Pomiaru dokonano przy pomocy lupy Brinnella. Urządzenie to, choć proste w swej budowie, posiada podziałkę liniową o długości 20 mm o rozdzielczości 0.1 mm oraz podświetlenie obserwowanego obszaru za pomocą diody led. Dzięki 10-cio krotnemu powiększeniu umożliwia przeprowadzenie dokładnego pomiaru rozwarcia rys.



Rys. 8. Lupa Brinnella

2. ANALIZA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA

Kolejnym etapem po uderzeniu było szacowanie strat oraz przystąpienie do likwidacji uszkodzeń. Pojawiły się wątpliwości czy w zbrojeniu prefabrykatu nie doszło do przekroczenia granicy sprężystości stali A-IIIN oraz czy nadmierne zarysowanie nie spowoduje obniżenia trwałości na dalszym etapie eksploatacji obiektu. W tym celu wykonana została szczegółowa analiza obliczeniowa, która miała pokazać poziom wykorzystania przekroju w stanie granicznym nośności jak poziom zarysowania w stanie granicznym użyteczności w dwóch newralgicznych punktach konstrukcji. Pierwszym punktem jest klucz gdzie mamy do czynienia z ekstremalną wartością momentu zginającego oraz punkt leżący w odległości 4.8 m od osi prefabrykatu gdzie występuje skok nośności zbrojenia głównego W programie ROBOT stworzony został model obliczeniowy. Zastosowano w nim elementy prętowe w przestrzeni jednowymiarowej e1, p1. Do tychże elementów prętowych przypisane zostały odpowiednie charakterystyki materiałowe betonu. Uwzględniona została również zmiana sztywności elementu w narożach. Obciążenia działające na konstrukcję oraz wartości współczynników obciążeń dla stanów granicznych przyjęte zostały w oparciu o normę PN-EN 1992-1.

Do obliczeń przyjęto:

– Beton C50/60

$$\gamma_m = 1.4$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa},$$

$$f_{cd} = 35,7 \text{ MPa}$$

$$\text{moduł Younga } E_{cm} = 37 \text{ GPa}$$

– Stal A-IIIN

$$\gamma_m = 1,15$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa},$$

$$f_{yd} = 434 \text{ MPa}$$

$$\text{moduł Younga } E_a = 200 \text{ GPa}$$

$$\text{ciągliwość } A - \epsilon_{ud} = 2,5\%$$

W obliczeniach uwzględniono ciężar własny elementu oraz wymuszenie poziome nogi prefabrykatu o $\Delta = 6 \text{ cm}$.

Zgodnie z przyjętym modelem obliczeniowym otrzymaliśmy następujące wartości sił wewnętrznych:

– w kluczu

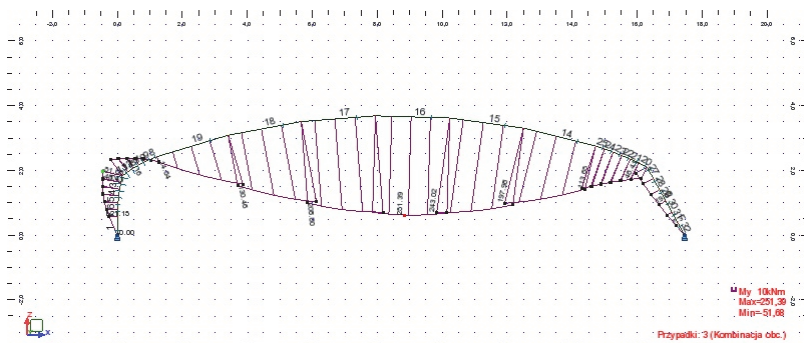
– moment zginający $M = 250 \text{ kNm}$ oraz siłę osiową $N = 36,80 \text{ kN}$,

– w odległości 4,8m od osi konstrukcji

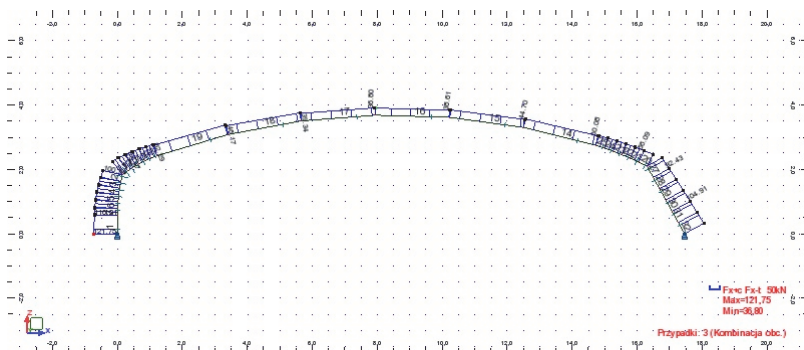
– moment zginający $M = 208,80 \text{ kNm}$ oraz siłę osiową $N = 46,17 \text{ kN}$

Na podstawie otrzymanych wyników i w oparciu o [1-3] wykonane zostały obliczenia zgodnie z metodą odkształceń plastycznych (ogólną). Dla stali ciągliwości A jaka została wbudowana w element prefabrykowany sprawdzony został maksymalny moment dla granicznego odkształcenia stali $\epsilon_{ud} = 2.5\%$ w zakresie plastycznym oraz odkształcenia stali $\epsilon_{ud} = 0.2\%$ co odpowiada granicy sprężystości. W obliczeniach przyjęto odkształcenie betonu na poziomie

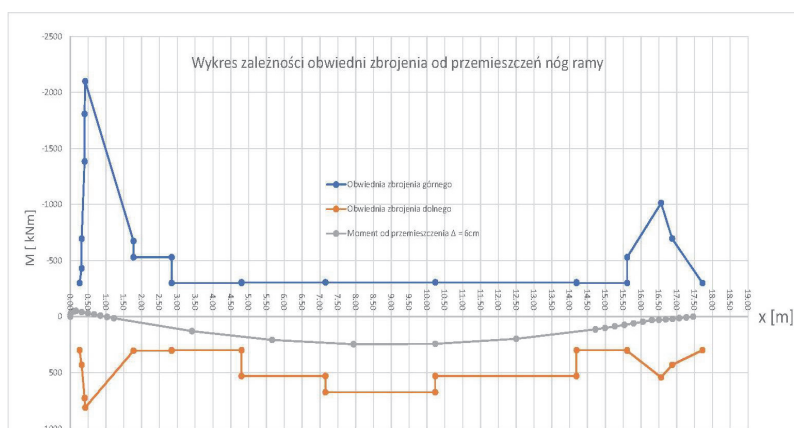
3,5%. W oparciu o powyższe założenia stworzono graficzną formę obwiedni zbrojenia pokazaną na rysunku 11.



Rys. 9. Wykres momentów zginających od ciężaru własnego i wymuszenia



Rys 10. Wykres sił osiowych od ciężaru własnego i wymuszenia



Rys 11. Wykresy obwiedni zbrojenia i wymuszenia $\Delta = 6\text{cm}$

W celu sprawdzenia wyników w stanie granicznym użyteczności wykonano obliczenia kontrolne rozwartości rys jak dla elementu, który nie doznał przemieszczeń wymuszonych oraz dla opisywanego zdarzenia. Na podstawie wyznaczonego zbrojenia w dwóch punktach konstrukcji obliczone zostały naprężenia w stali, odkształcenia od zginania oraz rozwartość rys. Dla przypadku w którym element prefabrykowany nie został uszkodzony obliczona rozwartość rys zgodnie z PN-EN 1992-nie przekracza wartości 0,02 mm. Biorąc jednak pod uwagę wpływ wymuszenia na konstrukcję obliczona rozwartość rys osiągnęła wartość w kluczu 0,15 mm, a w punkcie skoku zbrojenia 0,40 mm. Średni rozstaw rys wyniósł 24 cm.

3. WNIOSKI

Podstawą nowobudowanych konstrukcji żelbetowych jest prawidłowo wykonany projekt i właściwe jej wykonanie, tak by w przewidywanym czasie użytkowania zabezpieczyć konstrukcję przed wnikaniem do jej wnętrza niepożądanych cieczy i gazów oraz zapewnić odporność betonu na oddziaływania fizyczne i mechaniczne.

Analiza obliczeniowa elementów prefabrykowanych w SGN wykazała, że stal zbrojeniowa w chwili przyłożenia wymuszenia o $\Delta = 6\text{cm}$ pracowała w zakresie sprężystym. Dowodzi to, że element prefabrykowany mógłby zostać ściągnięty z podpór i ponownie ustawiony zgodnie z dokumentacją projektową z zachowaniem wymaganej rozpiętości. Po ściągnięciu i ponownym ustawieniu elementów rysy powinny się zamknąć i nie przekraczać 0,1 mm rozwartości. Wykonawca robót korzystając jednak z przyszługującego mu prawa do ubezpieczenia sprawcy wymienił elementy na nowe.

Obliczenia SGU przeprowadzone zgodnie z [1-3] nie oddają idealnego odwzorowania sytuacji, ponieważ pokazują mocno zawyżone wyniki ale dla projektanta konstrukcji mostowej są one poprawne i pozwalają bezpiecznie zaprojektować żelbet na etapie użytkowania.

Zdarzenie jakie miało miejsce na trasie S8 pokazuje jak bardzo istotna jest kontrola elementów na etapie montażu. Należy pamiętać, że w trakcie instalacji prefabrykatów bez ściągów stalowych jest praktycznie niemożliwa. Wykonawca robót montując element musi pamiętać o kontroli rozpiętości zgodnie z wymiarem produkcyjnym (nie projektowym). Należy również pamiętać, że rysy są nieodzownym elementem każdej konstrukcji żelbetowej, a ich kontrola polega na ograniczeniu ich liczby i rozwartości. W tym wypadku zarysowanie jakie powstało nie było groźne dla konstrukcji żelbetowej, a pod kątem nośności konstrukcja była w 100% bezpieczna gdyż nie doszło do uplastycznienia stali zbrojeniowej. W związku z powyższym elementy nadawały się do ponownego wbudowania

LITERATURA

1. PN-EN 1992-1 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 2: Mosty z betonu. Obliczenie i reguły konstrukcyjne.*
2. Łapko A., Jensen B.C., *Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych.*
3. Madaj A., Wołowicki W., *Mosty betonowe. Wymiarowanie i konstruowanie.*

