

PRZYCZYNY USZKODZEŃ WZNOSZONEGO BUDYNKU O PREFABRYKOWANEJ KONSTRUKCJI SZKIELETOWEJ

ŁUKASZ DROBIEC, *e-mail: lukasz.drobiec@polsl.pl*

JACEK HULIMKA

RAFAŁ KRZYWOŃ

Politechnika Śląska

ZBIGNIEW PAJĄK

ATH Bielsko-Biała

Streszczenie: W pracy opisano przyczyny uszkodzeń budynku o żelbetowej szkieletowej konstrukcji prefabrykowanej. W obiekcie zastosowano sprężone stropowe płyty kanałowe i TT, oparte na żelbetowym szkielecie. Podczas montażu prefabrykowanych elementów popełniono błędy generujące powstanie uszkodzeń konstrukcji. Dodatkowo, pewne elementy wadliwie zaprojektowano.

Słowa kluczowe: żelbetowe konstrukcje prefabrykowane, konstrukcje sprężone, błędy montażowe, błędy projektowe, uszkodzenia

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój budownictwa z wielkowymiarowych elementów prefabrykowanych, zbrojonych stalami zwykłymi i sprężającymi [1, 2, 3]. W elementach tych, o wysokim standardzie wykończenia, stosowane są betony i stale wysokiej wytrzymałości oraz nowoczesne akcesoria i łączniki. Stosowanie nowych rozwiązań wymaga jednak przestrzegania pewnych reżimów wykonawczych [4, 5, 6]. W pracy opisano uszkodzenia budynku o żelbetowej szkieletowej konstrukcji prefabrykowanej, które wystąpiły w fazie montażu obiektu.

2. Konstrukcja obiektu

Główna konstrukcja nośna dwukondygnacyjnego budynku użyteczności publicznej została zaprojektowana jako szkieletowa, żelbetowa prefabrykowana ze stropami sprężonymi z płyt TT o rozpiętości około 21 m oraz kanałowymi płytami HC o wysokości 320 mm i zmiennej rozpiętości, od 10 do 12 m. Całkowita długość budynku wynosi 107,1 m, a jego maksymalna szerokość to 37,85 m.

Szkielet budynku stanowią żelbetowe jedno- i dwukondygnacyjne słupy (o przekroju 0,5×0,5, 0,4×0,5 i 0,4×0,4 m) z krótkimi wspornikami, żelbetowe belki skrajne typu RL (oznaczone jako typy BB, BG i BT) z jednostronną półką i belki wewnętrzne typu RT, w kształcie odwróconej litery T. Rozpiętość belek w osiach słupów wynosi od 5,4 m do 8,10 m. Obiekt podzielono dwoma szczelinami dylatacyjnymi na trzy segmenty – biurowy, garażowy i techniczny. W części garażowej rzutu budynku, na płytach TT zaprojektowano dodatkową kondygnację o lekkiej konstrukcji stalowej.

Usztywnienie konstrukcji stanowią żelbetowe ściany pionów komunikacyjnych i ściany w postaci, skrępowanych żelbetowymi trzpieniami, murów z bloczków z betonu komórkowego. Widoki budynku w trakcie montażu pokazano na rys. 1 i 2.

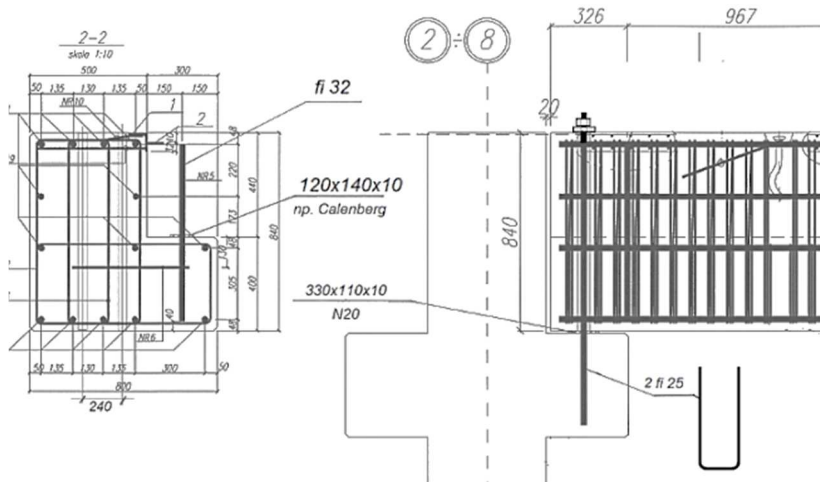


Rys. 1. Widok konstrukcji budynku – fotografia z drona



Rys. 2. Widok konstrukcji budynku

Połączenia pomiędzy prefabrykowanymi elementami typu płyta HC-belka i płyta TT-belka zaprojektowano jako przegubowe. Połączenia belka-słup zaprojektowano jako przegubowe w płaszczyźnie ram nośnych i quasi-przegubowe w płaszczyźnie prostopadłej – z założeniem przeniesienia momentu skręcającego przez pary stalowych wytyków, zabetonowanych w kanałach belek. Połączenia skrajnych belek ze słupami, na krótkich wspornikach, pokazano na rys. 3. Połączenia belek ze słupami realizowano przez nanizanie kanałów w belkach na stalowe pręty (wytyki) o średnicy 25 mm ze stali żebrowanej A-IIIIN, wypuszczane ze wsporników i następnie wypełnienie kanałów zaprawą ekspansywną. Podobne rozwiązanie przyjęto dla oparcie płyt TT na wspornikach belek, przy czym w połączeniach stosowano wytyki o średnicy 32 mm. Kanały pod wytyki formowano w belkach przy użyciu rurek PCV $\phi 50$ mm, a w żebrach płyt TT przy użyciu rur stalowych $60 \times 80 \times 2$ mm. Wytyki w połączeniach belki BG-1 (część garażowa) na końcach gwintowano w celu dodatkowego zablokowania podkładkami i nakrętkami. W płaszczyźnie oparcie elementów stosowano podkładki elastomerowe punktowe typu N15 i N20 o grubości 10 mm oraz podkładki liniowe SD.



Rys. 3. Połączenie belek RL (BG-1) na wspornikach słupów

3. Uszkodzenia i nieprawidłowości

Podczas oględzin obiektu, po zamontowaniu szkieletu, stwierdzono występowanie różnych uszkodzeń i nieprawidłowości, a w szczególności:

- obrót belek typu RL (BG, BT, BB) na podporach,
- uszkodzenia płyt TT w strefach oparcia na liniowych wspornikach belek BG-1,
- wysunięcie się rurek PCV ponad górne powierzchnie belek typu RL,
- deformacje (zmiażdżenie) podkładek elastomerowych w oparciach elementów,
- wykruszenia betonu w miejscach styku elementów,
- zarysowania krótkich wsporników słupów,
- zarysowania i ugięcia belek wspornikowych nad parterem i piętnem części biurowej.

Obrót belek typu RL na podporach występował we wszystkich segmentach obiektu (rys. 4). Dokonano pomiaru obrotu belek BG, na których zabudowane są płyty TT oraz wybranych belek BB i BT, na których oparto płyty HC. Stwierdzono, że belki RL pod płyty TT obróciły się średnio o około 2° , natomiast belki RL pod płyty HC nieco mniej. W belkach jednoprzęsłowych nie stwierdzono istotnych różnic między pomierzonym kątem obrotu przy podporze oraz w środku rozpiętości – różnica nie przekraczała $0,2^\circ$. W belkach ze wspornikiem różnice były większe, a kąt obrotu belki zmieniał się w przęśle i na wsporniku.



Rys. 4. Przykłady obrotu belek RL na podporze

Podczas montażu niektóre belki RL próbowano zabezpieczyć przed obrotem przez zastosowanie stalowych ściągow zakotwionych o słupy. Ściągami te uległy jednak deformacji, a krawędzie elementów lokalnym uszkodzeniom (rys. 5).



Rys. 5. Próba zabezpieczania przed obrotem belki RL podczas montażu stalowymi ściągami i drewnianymi klinami

Obrót belek RL (typ BG-1) spowodował uszkodzenia płyt TT w strefach oparcia na belkach oraz samych belek w okolicy wytyków. Stwierdzono występowanie spękań i rys na podciętych częściach żeber płyt TT (rys. 6). Wytyki ściskane zostały wypchnięte ku górze głównie na skutek wysunięcia się (poślizgu) rurek PCV formujących kanały (rys. 7). Zmiażdżeniu uległy podkładki elastomerowe po stronie dociskanej krawędzi – zarówno pod żebrami płyt TT, jak i pod belkami RL (rys. 8).



Rys. 6. Przykłady uszkodzeń stref podporowych płyt TT



Rys. 7. Widoki góry belek BG-1 przy wewnętrznych (ściskanych) wytykach; wypchnięcie wytyku



Rys. 8. Zmiażdżenie podkładek elastomerowych pod podciętym zębem płyty TT i pod belką RL

W części technicznej zaobserwowano wypadki zarysowania i odspojenia fragmentów otuliny betonowej na spodzie belek RL (typ BT), przy rozciągającym wytyku (rys. 9).



Rys. 9. Uszkodzenia dolnej powierzchni belek RL przy rozciągającym wytyku – zerwanie przyczepności wytyku przy dolnej powierzchni belki

Po obrocie belek RL elementy prefabrykowane w wielu miejscach stykały się wzajemnie (rys. 10, 11), co skutkowało lokalnym miażdżeniem betonu (rys. 11).



Rys. 10. Oparcie belek RL o słup, po obrocie



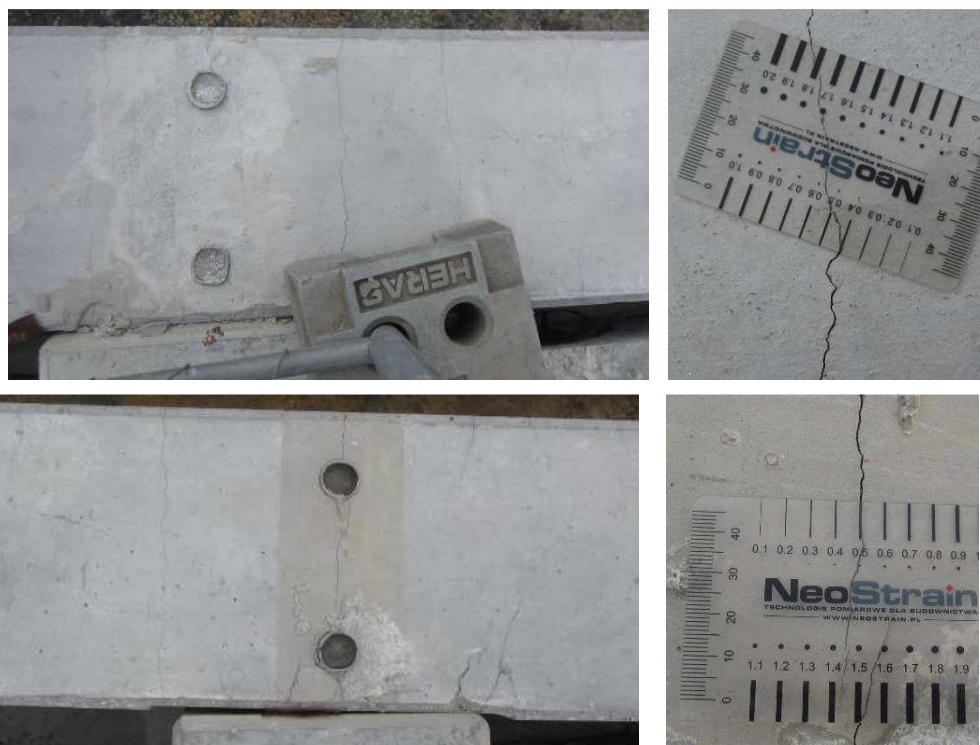
Rys. 11. Uszkodzenia spowodowane dociskiem

Stwierdzono, że niektóre rurki PCV pod wytyki są wysunięte do góry. Podczas nanizania elementów prefabrykowanych na wytyki musiało dojść do zaczepienia wytyku o rurkę i zerwania przyczepności na styku beton-PCV. Rurki lokalnie wysunęły się o kilka do kilkunastu centymetrów. Stwierdzono ponadto, że krótkie wsporniki słupów są zarysowane, z rozwarciem w granicach od 0,1 do 0,3 mm. Rysy wystąpiły głównie od strony wnętrza obiektu na bocznych powierzchniach wsporników skrajnych słupów, jak również na powierzchniach krótkich wsporników w osi środkowej w części technicznej. W części biurowej, z uwagi na przesłonięcie krótkich wsporników półkami belek RL nie można było stwierdzić, czy są one zarysowane. W części garażowej rysy przy krótkich wspornikach były nieznaczące, co wynikało z większej wysokości elementów.

Belki w części biurowej, ze wspornikiem o wysięgu 4,5 m, zlokalizowane nad parterem i piętrem (rys. 12) wyraźnie się ugięły i zarysowały nad podporami. Rozwarcie rys w tych belkach dochodziło do 0,5 mm (rys. 13), a ich zasięg do połowy wysokości belek (rys. 14).



Rys. 12. Belki ze wspornikiem o wysięgu 4,5 m



Rys. 13. Przykład zarysowania górnej powierzchni belki w części wspornikowej



Rys. 14. Zasięg rys we wspornikowej części belki

4. Analiza obliczeniowa

Analiza obliczeniowa płyt TT wykazała spełnienie warunków SGN i SGU, lecz przy założeniu projektowanych warunków podparcia na podciętym odcinku żebra (to jest bez obrotu belek podporowych). W rzeczywistym przypadku, kiedy obrót belki RL spowodował przesunięcie reakcji podporowej na koniec podciętego odcinka żebra, warunki nośności zostały tam lokalnie przekroczone.

Podobnie, z uwagi na obrót belek RL, doszło do przekroczenia SGN we wspornikach słupów.

Wykonano ponadto obliczenia połączeń płyt TT z belkami BG-1 i płyt HC z belkami BT i BB. W fazie montażowej, przy obciążeniu wyłącznie elementami prefabrykowanymi, stwierdzono, że naprężenia w wytykach przekraczają w części garażowej (obciążenie płytami TT) wytrzymałość stali prętów wytyków i osiągają tę wytrzymałość w części biurowej i technicznej (obciążenie płytami HC). Na skutek obrotu belek RL (BG-1, BT i BB) mogło zatem dojść do uplastycznienia się prętów wytyków.

Obliczenia belki ze wspornikiem o wysięgu 4,5 m pod ciężarem własnym i pod obciążeniem z opartych na nich płyt HC (bez uwzględniania obciążenia użytkowego, obciążenia od ciężaru elewacji oraz wykończenia) wykazały przekroczenie stanu granicznego użytkowności o kilkanaście procent. W przypadku uwzględnienia obciążeń warstwami podłogi i elewacją oraz obciążeń użytkowych belki te miały znacznie przekroczony stan graniczny nośności.

5. Przyczyny uszkodzeń

Do opisanych wyżej uszkodzeń prefabrykowanej konstrukcji doszło w fazie montażu, czyli w przejściowej sytuacji projektowej, przy obciążeniu wyłącznie samymi elementami prefabrykowanymi. Podczas montażu doszło do obrotu skrajnych belek RL na podporach. Obroty te były już zauważane we wczesnej fazie montażu i próbowano je ograniczyć przez stosowanie ściąągów między belkami a słupami (por. rys. 5) oraz drewnianych klinów między płytami HC a belkami – zabiegi te nie przyniosły jednak oczekiwanego efektu. Należy tu podkreślić, że w tego typu konstrukcjach nie odpuszcza się możliwości obrotu belek RL. Na ogół uzyskuje się to przez montażowe podarcie belek i połączenie przez spawanie marek płyt HC i belek RL. Główną przyczyną utraty stateczności na obrót skrajnych belek były niewłaściwie przyjęte projektowe rozwiązania prefabrykowanej konstrukcji, które pomijały potrzebę podpierania skrajnych belek w fazie montażu. Z rozwiązań przyjętych w projekcie wynika, że zabezpieczenie przed obrotem zakładano poprzez przejście momentu skręcającego skrajne belki przez pary stalowych wytyków zabetonowanych w kanałach – quasi-przegubowe połączenie belek ze słupami na krótkich wspornikach w kierunku rozpięcia stropów. W praktyce okazało się to jednak niewystarczające. W pracy [7] (oraz jej wydaniach wcześniejszych) zwraca się wyraźnie uwagę na konieczność zabezpieczenia belki krawędziowej przed obrotem, najlepiej przez trwałe powiązanie belek z prefabrykatami stropów i przez odpowiednie podpierania belek podczas montażu.

Bezpośrednio po ułożeniu stropowych belek na sprężystych podkładkach, leżących na wspornikach słupów, w wyniku mimośrodowego obciążenia podkładek musiało dochodzić do wstępnego obrotu belek na podporach. Dalszy obrót belek RL występował już po zabetonowaniu wytyków w kanałach belek i po ułożeniu stropowych płyt TT i HC. W tej fazie do dalszego obrotu dochodziło na skutek poślizgów rurek PCV formujących kanały, lokalnej utraty przyczepności wytyków w kanałach, oraz uplastycznienia się prętów wytyków.

Znaczne ugięcia długich wsporników belek BB w części biurowej i ich zarysowania nad podporami spowodowane były zbyt małą sztywnością i nośnością zastosowanych belek. Uszkodzenia te wynikały z błędu projektowego. Autorzy pracy zaproponowali naprawę belek wspornikowych przez ich wymianę na nowe lub wzmocnienie taśmami z włókien węglowych. Autorzy projektu ograniczyli się jednak tylko do zalecenia demontażu belek krawędziowych łączących dwie sąsiednie belki, argumentując, że belki spełniają obliczeniowo warunki stanu granicznego nośności i stanu granicznego użytkowności. Zdeformowane i zarysowane belki zabudowano w obiekcie (rys. 15). O tym fakcie poinformowano PINB. Dalsze losy belek nie są autorom znane.



Rys. 15. Zabudowanie ugiętych i zarysowanych belek ze wspornikiem

6. Podsumowanie

Współczesna betonowa prefabrykacja, dzięki wprowadzeniu nowoczesnych rozwiązań materiałowych i technologicznych, stworzyła nowe możliwości kształtowania przestrzeni obiektów budowlanych. W projektowaniu i realizacji obiektów należy zwracać szczególną uwagę na odpowiednie zaprojektowanie i prawidłowy montaż. Większości opisywanych uszkodzeń można było uniknąć podpierając belki RL w czasie montażu płyt stropowych. W konsekwencji popełnionych błędów konieczna była wymiana płyt TT na nowe. Płyty HC uratowano, lewarując belki RL i zapewniając odpowiednie połączenie płyt z belkami.

Literatura

1. Cholewicki A., Szulc J.: Sprężone płyty kanałowe typu HC dużej rozpiętości. *Materiały Budowlane*, nr 11/2010, s. 13–15.
2. Ajdukiewicz A., Mames J.: *Konstrukcje z betonu sprężonego*. Polski Cement, 2008.
3. Pająk Z., Drobiec Ł.: Współczesne betonowe konstrukcje prefabrykowane w praktyce budowlanej. *Inżynier Budownictwa*, nr 1/2011, s. 61–64.
4. Pająk Z., Drobiec Ł.: Prefabrykowane wielkowymiarowe elementy betonowe. Cz. I. Stropy. *Przegląd Budowlany*, nr 3, 2003, s. 17–19.
5. Pająk Z., Drobiec Ł.: Prefabrykowane wielkowymiarowe elementy betonowe. Cz. III. Elementy szkieletów. *Przegląd Budowlany*, nr 5, 2003, s. 20–21.
6. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Węglorz M.: Sprężone płyty kanałowe – błędy produkcyjne, montażowe i eksploatacyjne. *Przegląd Budowlany*, nr 2/2010, s. 34–40.
7. Starosolski W. *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych*. Tom V. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2016.

THE REASONS OF THE DAMAGE OF PRECAST SKELETON STRUCTURE DURING ERECTION PHASE

Abstract: The paper describes the reasons of damage to the precast reinforced concrete skeleton structure. The structural system includes prestressed hollow core and TT slabs, supported by the reinforced concrete precast frame. During the assembly of precast elements errors were committed and they caused the structural damage. In addition, certain elements of the building were designed improperly.

Keywords: precast reinforced concrete, prestressed structure, assembly errors, design errors, damage