

Błędy przy deskowaniu elementów monolitycznych – studium przypadku

dr inż. Daniel Przywara, Katedra Mostów, Geotechniki i Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Opolska w Opolu

1. Wprowadzenie

Podstawowym zadaniem urządzenia formującego, tradycyjnie określanego mianem deskowania, jest wydzielenie przestrzeni betonowego lub żelbetowego elementu monolitycznego z ogólnej przestrzeni obiektu. Deskowanie to konstrukcja stała lub tymczasowa [1], która zapewnia wymagany kształt formowanemu elementowi, dopóki nie uzyska on samonośności.

Współczesne wykonawstwo monolitycznych konstrukcji betonowych staje się procesem coraz bardziej złożonym [2, 9] – głównie za sprawą stosowania nowoczesnych rozwiązań systemowych i materiałowych wraz z dostosowaną do nich technologią, jak również wskutek potrzeby optymalizacji kosztów wykonania, czasu pracy i innych wskaźników ekonomiczno-technicznych. Przystępując do opracowania kompleksowego projektu robót, planista musi rozwiązać szereg problemów decyzyjnych. Umiejętność ich usystematyzowania umożliwia racjonalną alokację zasobów w czasie i pozwala na ich efektywne wykorzystanie.

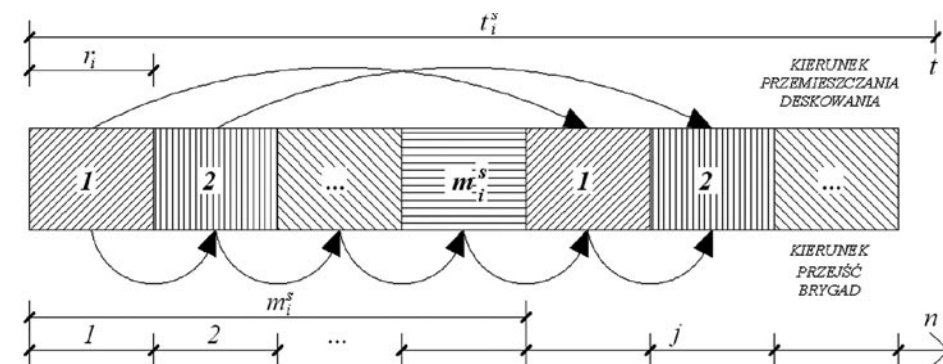
Ważny element stanowi w tej ocenie również aspekt organizacyjny – produkcja budowlana nacechowana jest wszak niepowtarzalnością realizacyjną, powodującą w wielu przypadkach trudności w podziale obiektu

na równomierne działki robocze, a nawet uniemożliwiające rytmiczne prowadzenie prac.

Awarie deskowań na placach budów mogą mieć różne podłoże. Do najczęstszych błędów w sferze organizacyjnej doboru deskowań zaliczyć można [3]:

- odsunięcie decyzyjności w zakresie doboru deskowań od osób bezpośrednio związanych z produkcją budowlaną;
- dobór deskowań wyłącznie przez pryzmat ekonomiczny;
- nieoptymalny dobór liczby deskowań w odniesieniu do danego zadania budowlanego (najczęściej za dużo deskowań);
- nieadekwatne do możliwości wykonywanie deskowań o skomplikowanych kształtach;
- niebezpieczna oszczędność na osprzęcie BHP do deskowań;
- zbagatelizowanie kwestii wykonania elementów z betonu licowego między innymi przez założenie w ofercie typowych deskowań ramowych zamiast indywidualnie wykonywanych deskowań dźwigarowych z poszyciem ze sklejki o wysokiej jakości.

Błędne decyzje przy doborze deskowań mogą prowadzić do zwiększenia kosztów ich dzierżawy [5]. Przy zamówieniu na budowę zbyt dużej liczby tarcz i przy



Rys. 1. Kierunek przejść brygad roboczych i przemieszczania deskowań na realizowanym obiekcie; t_i^s – czas pracy wszystkich brygad na danej działce, r_i – rytm pracy równomiernej przy zastosowaniu i -tego zasobu, m_i^s – liczba działek, na których jednocześnie trwają roboty, $j = 1, 2, \dots, n$ – podział obiektu na działki robocze (opis w tekście); źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

zbyt długich okresach składowania niewykorzystywanych elementów, a w przypadku nadmiernej ich rotacji – do zwiększenia prawdopodobieństwa ich uszkodzenia. Zbyt mała liczba deskowań może skutkować ponadto opóźnieniem terminu zakończenia realizacji oraz nieużytkiem oczekiwanego rezultatu pod względem jakości pozyskanej powierzchni. Specyfika kalkulacji deskowań wynika z odmiennego

charakteru ich pracy i obsługujących je brygad roboczych, co ilustruje rysunek 1. Kierunek przejść brygad przez wszystkie działki robocze (*m*) obrazuje, poza robotami szalunkowymi, również roboty zbrojarskie, betoniarskie, czy pielęgnację świeżego betonu.

W przypadku deskowań kierunek ich przemieszczania pomiędzy działkami, a dalej procesami budowlanymi wynika z „usługowej” ich funkcji na frontach robót monolitycznych, dla których jako jednostkę produkcji przyjmuje się m^3 ułożonej mieszanki betonowej, wspólnie z tonażem wbudowanej stali zbrojeniowej. Wymaga to odrębnej analizy zarówno czasowej, jak i kosztowej pracy tych jednostek sprzętowych, w zestawieniu z ogólnym harmonogramem robót – tworzonym w oparciu o normatywną pracochłonność jego procesów. W budownictwie stosowane są zasadniczo dwa rodzaje deskowań: szalunki systemowe (gotowe rozwiązania modułowe) oraz deskowania tradycyjne (z drewna iglastego) [6, 7].

Oferowane w tym zakresie na polskim rynku deskowań ich kompleksowe systemy techniczne, m.in. Peri, Ulma, Noe, Doka, Paschal czy Hunnebeck proponują szerokie spektrum ich rozwiązań konstrukcyjnych, poparte obliczeniami inżynierskimi w zakresie statyki. Prawie każdy producent deskowań w swojej ofercie posiada także komputerowe programy ułatwiające dobór elementów do zadeskowania rozpatrywanego fragmentu konstrukcji.

W robotach monolitycznych prace związane z deskowaniem konstrukcji są procesem najbardziej kosztotwórczym i pracochłonnym [8]. Właściwie dobrany system deskowania w sposób znaczący wpływa na zmniejszenie kosztów robót oraz przyczynia się do sprawnej realizacji całego obiektu.

Zaletą stosowania deskowań systemowych jest unifikacja ich elementów. Poszczególne ich podzespoły, jak np. zamki, zastrzały, szyny, ściągi czy koźły oporowe można wykorzystywać zarówno w zestawach szalujących ustroje fundamentowe, jak również, po ich wykonaniu – konstrukcje słupów, stropów czy belek.

Każdą decyzję inwestycyjną poprzedzają odpowiednie analizy. W budownictwie – oprócz analiz lokalizacyjnych – istotne są również analizy projektowych rozwiązań koncepcyjnych oraz analizy konkretnych rozwiązań projektowych w zakresie materiałów i technologii robót [11, 13]. Realizacja obiektów budowlanych w technologii betonowego budownictwa monolitycznego odbywa się w miejscu budowy. Deskowania powinny nie tylko nadawać elementom z betonu kształt i wymiary przewidziane w projekcie [12], ale muszą również przenosić różne obciążenia, jak choćby od parcia mieszanki betonowej.

Muszą zatem mieć odpowiednią wytrzymałość oraz sztywność. Nie mogą ulegać wstrząsom i odkształceniom w czasie betonowania. Dlatego stosuje się różnego rodzaju ściągi, jarzma, zastrzały, łączniki oraz rozparcia. Szczególnym przypadkiem betonowych robót monolitycznych jest deskowanie elementów przewidzianych do wykonania w teksturze betonu architektonicznego, nazywanego potocznie betonem licowym. Wzrastają wówczas wymagania projektowe w zakresie estetyki wyeksponowanych powierzchni licowych, co z kolei stanowi podstawową przyczynę nieporozumień w założeniach wykonawcy i oczekiwaniach zamawiającego [14].

W rzeczywistości elementy wykonywane w betonie licowym wymagają kilkukrotnie większych nakładów niż w przypadku elementów bez takich wymagań.

Poza rosnącym w tym przypadku nakładem pracy ludzkiej i wzrostem kosztów dzierżawy deskowań istotnym składnikiem cenotwórczym w tej analizie staje się systemowa sklejka szalunkowa, której krotność użycia w tym procesie jest mniejsza od krotności przestawień szalunków, np. przy realizacji ścian, stropów czy słupów.

Wynika to ze spadku właściwości sklejki podczas kolejnych betonowań działek roboczych – odcinków elementów. W tym przypadku sklejkę taką należy częściowo wliczać w kartotekę materiałową kalkulacji kosztorysowej, by uwzględnić jej zużywanie się.

Awaryjne deskowania na placach budów, jako jednostek sprzętowych w kategorii kosztów, mają specyficzny charakter. Każdorazowo bowiem generują straty materiałowe (wyciek mieszanki), w odróżnieniu od innych typów sprzętu (np. awaria koparki, dźwigu, zagęszczarki).

Wzrost strat kosztowych jest proporcjonalny do ilości utraconej mieszanki betonowej, której ze względu na czas potrzebny na naprawę i wzmocnienie szalunku, przy postępującym procesie wiązania masy betonowej, nie można najczęściej wykorzystać do innych procesów. Stąd też w konstruowaniu rozwiązań technicznych ustrojów deskowań należy intuicję inżynierską wspomagać ich obliczeniami statycznymi oferowanymi przez współczesne oprogramowanie komputerowe, zwłaszcza w przypadku znacznych rozpiętości i gabarytów szalowanych elementów budowlanych.

2. Awaria deskowania belki monolitycznej – studium przypadku

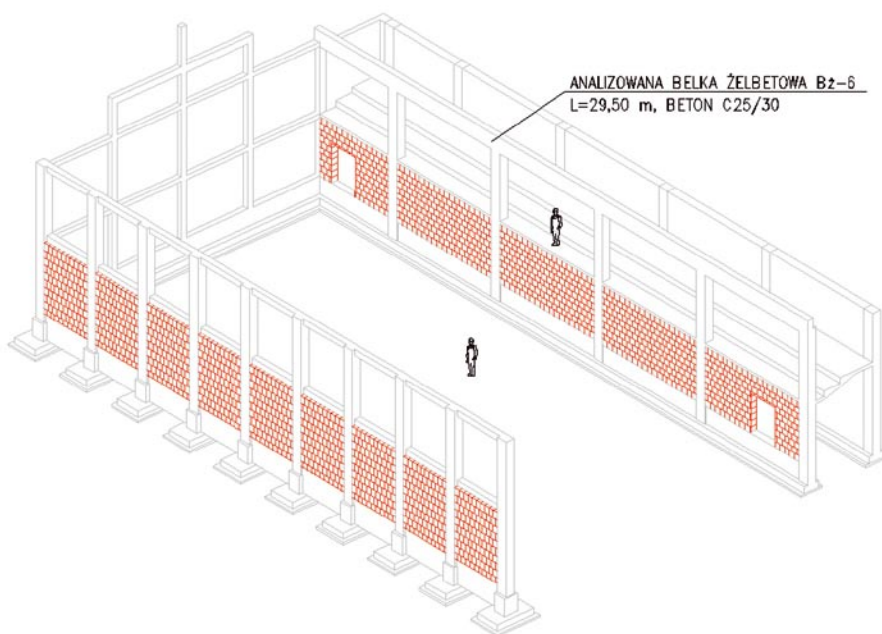
W niniejszym studium przypadku dokonano analizy przyczyn awarii deskowania systemowego w trakcie betonowania elementu żelbetowego monolitycznego. Opisany dalej przypadek nie dotyczy żadnego

Rys. 2. Stan surowy otwarty hali sportowej w Lubszy – z zaznaczoną belką żelbetową Bz-6: widok w aksonometrii (opis w tekście); źródło: badania i opracowanie własne autora

z wymienionych najczęstszych błędów przy realizacji robót betonowych – ukazuje natomiast, jak dużą siłą w szalunku budowlanym jest ciśnienie hydrostatyczne mieszanki betonowej i jak, przy pominięciu wpływu globalnej stateczności ustroju deskowania – uzależnionej od geometrii i kształtu przekroju betonowanego elementu – parcie mieszanki może zmienić zwrot, doprowadzając do awarii, na pozór właściwie wykonanej formy ciesielskiej.

Przedsięwzięcie budowlane polegające na budowie hali sportowej wraz z zapleczem technicznym realizowano w miejscowości Lubsza (województwo opolskie, powiat brzeski) w okresie od września 2009 roku do lipca 2010 roku.

Zasadniczy ustrój konstrukcyjny hali zaprojektowano w postaci słupów żelbetowych monolitycznych, posadowionych na stopach i ławach fundamentowych. W bocznej ścianie obiektu przewidziano widownię (żelbetowa płyta), zaś jej zadaszenie, w formie dachu pulpituowego wsparto na głównej belce wieńczącej układ słupowy (rys. 2), wspierający dach hali (stalowa konstrukcja kratowa). Rozwiązanie to zdeterminowało geometrię przekroju poprzecznego tej belki, nadając mu

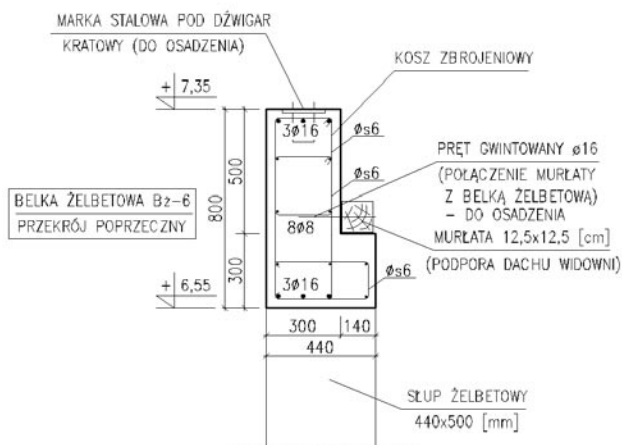


kształt litery L (rys. 3). Analizowaną belkę Bz-6, o łącznej długości 29,50 m, wsparto na sześciu słupach żelbetowych, w rozstawie osiowym 5,90 m.

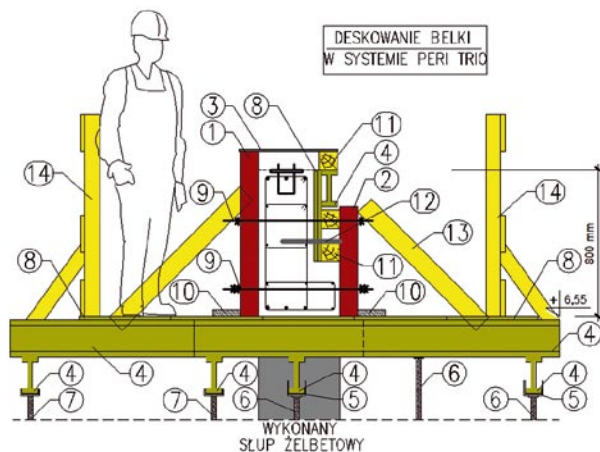
Roboty szalunkowe i betonowe opisanego elementu realizowane były w okresie zimowym (styczeń 2010 r.), przy ujemnych temperaturach, stąd mieszanka betonowa (C25/30) zawierała dodatki mrozoodporne. W podporach elementu przewidziano do osadzenia marki stalowe, do montażu konstrukcji stalowej dachu.

Po wykonaniu żelbetowych słupów monolitycznych hali w części z widownią przystąpiono do robót szalunkowych belki Bz-6. Rozwiązanie deskowania elementu zobrazowano na rysunku 4.

Ze względu na znaczną wysokość prowadzenia robót (6,55 m powyżej posadzki hali) jako konstrukcję wsporczą deskowania przewidziano jednostronnie rusztowanie podporowe Peri UP FLEX (7), na którym wsparto



Rys. 3. Przekrój poprzeczny belki Bz-6 (rysunek ciesielsko-zbrojarski, opis w tekście); źródło: badania i opracowanie własne autora



Rys. 4. Deskowanie belki Bz-6 przy użyciu systemu Peri Trio; źródło: badania i opracowanie własne autora

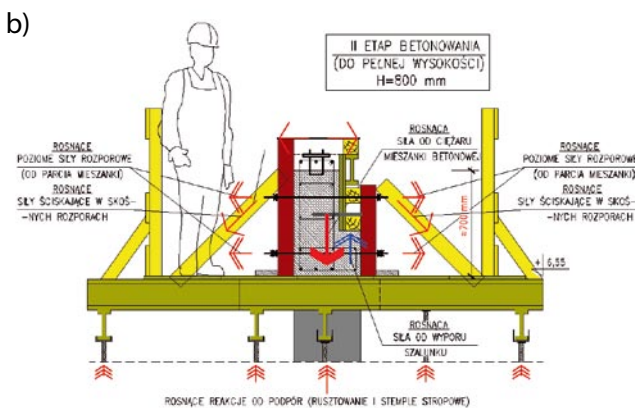
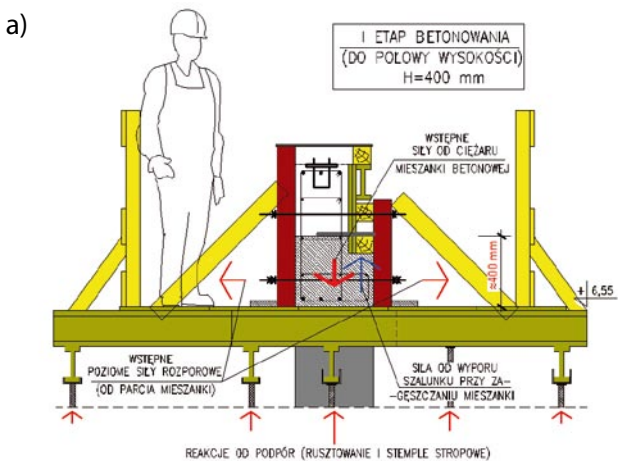
poprzecznie i podłużnie dźwigary deskowaniowe Peri VT 20K (4). Po drugiej stronie – na trybunach widowni, podobnie jak bezpośrednio pod belką Bż-6, szalunek podparto stalowymi podporami stropowymi Peri PEP ERGO (6).

Na stemplach, za pośrednictwem głowic Peri G20/24 (5), również ułożono dźwigary deskowaniowe (4), otrzymując ruszt roboczy (pod deskowanym elementem ustawiono ich zakłady), które poszyto systemową sklejką drewnianą grubości 20 mm (8).

Za pomocą bali drewnianych 1,5" (10) wytrasowano położenie belki, wykorzystując jako ściany jej szalunku płyty Peri TR 90x270 (1) oraz TR 60x270 (2). Płyty ustabilizowano w ich górnej strefie stalowymi szynami systemowymi (3).

Powstały szalunek usztywniono ściągami stalowymi długości 120 cm (9), skręcanymi nakrętkami stalowymi (12), oraz dodatkowo, po całej jego długości, rozporami drewnianymi (13). Pomost roboczy zabezpieczono barierkami ochronnymi (14).

Ze względu na kształt przekroju poprzecznego belki (L) w szalunku umieszczono prowizoryczne wypełnienie z krawędziaków drewnianych 10x10 cm (11),



Rys. 5. Etapowe betonowanie belki Bż-6: a) etap I: do połowy jej wysokości (H=400 mm), b) etap II: do pełnej wysokości (H=800 mm); źródło: badania i opracowanie własne autora

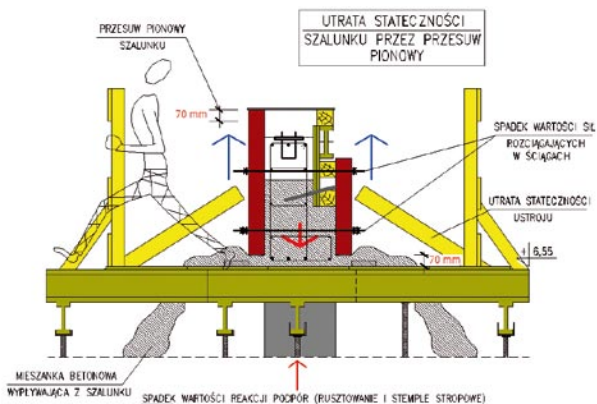
usztywnione dodatkowym dźwigarem Peri VT 20K (4) i poszyte również systemową sklejką drewnianą grubości 20 mm (8) (tzw. futro cieślijskie). Przed zamknięciem szalunku zamontowano zbrojenie belki (6Ø16+8Ø8), spięte strzemionami Ø_s6.

Do wykonania elementu monolitycznego zamówiono mieszankę betonową C25/30 z wytwórni, w ilości 9,10 m³ (jeden mieszalnik samochodowy). Ze względu na znaczną wysokość belki jej betonowanie realizowano dwoma etapami, wypełniając w pierwszym „przejściu” pompy szalunek do połowy wysokości elementu, przy jednoczesnym zagęszczaniu mieszanki wibratorem pograżalnym (rys. 5).

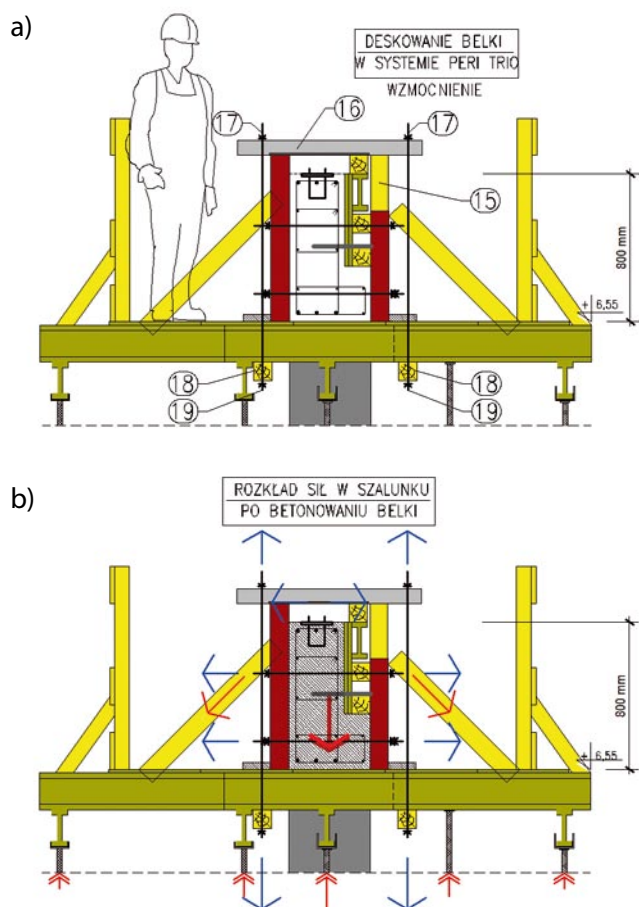
Awaria deskowania nastąpiła w momencie układania drugiej warstwy masy betonowej, w końcowych jego fazach. Jej powodem było rosnące ciśnienie hydrostatyczne w szalunku, wywołane zagęszczaniem partii betonu bezpośrednio pod wypełnieniem kształującym przekrój (pod „futrem”). Parcie mieszanki spowodowało utratę stateczności całego ustroju deskowania przez jego przesuw pionowy, wypierając jego ściany (płyty) pionowo w górę o około 70 mm (rys. 6).

Praca masy betonowej w nieuszczelnym szalunku zmieniła się w pracę cieczy „w dziurawym poidle dla kanarka”, powodując jej wypłynięcie i zrzut z pełnej wysokości rusztowania podporowego. Roboty realizowane na wysokości 6,55 m nad poziomem posadzki hali oraz znaczna masa mieszanki (9,10 m³ x 2500 kg/m³ = 22750 kg) uniemożliwiały podjęcie jakichkolwiek działań naprawczych lub zapobiegających postępującym stratom kosztowym.

Po samoczynnym opróżnieniu szalunku wykonano jego częściowy demontaż ze względu na konieczność oczyszczenia płyt, zmyto też pręty zbrojeniowe czystą wodą, by nie dopuścić do związania mleczka cementowego na ich powierzchni, co spowodowałoby konieczność ich piaskowania.



Rys. 6. Utrata stateczności szalunku przez przesuw pionowy: wypór (opis w tekście); źródło: badania i opracowanie własne autora



Rys. 7. Wzmocnienie deskowania belki Bz-6: a) blokada przesuwu pionowego, b) rozkład sił w szalunku po betonowaniu belki (opis w tekście); źródło: badania i opracowanie własne autora

Odtwarzając pierwotny ustrój deskowania belki, przed kolejnym jej betonowaniem dokonano jego wzmocnienia (rys. 7a). Blokadę przesuwu pionowego szalunku rozwiązano poprzez przytwierdzenie go do pomostu



Rys. 8. Rusztowanie podporowe deskowania belki Bz-6; źródło: fotografie własne autora



Rys. 9. Gotowe deskowanie belki Bz-6 przed betonowaniem; źródło: fotografie własne autora



Rys. 10. Wzmocnienie deskowania belki Bz-6 (opis w tekście), źródło: fotografie własne autora

roboczego za pomocą systemowych szyn stalowych Peri (16) – górną, zaś dołem – bezpośrednio pod dźwigarami deskowaniowymi pomostu poprzez odcinkowe krawędziaki drewniane 10x10 cm (18). W celu stabilizacji poziomej szyny zamocowano dodatkowe słupki drewniane (15), całość zaś spięto ściągnięciami stalowymi długości 150 cm (17), skręcanyimi stalowymi nakrętkami (19).

Rozwiązanie to pozwoliło na bezpieczne wykonanie elementu monolitycznego.

Jego zmodyfikowany szalunek pozwolił na przeniesienie powstających w trakcie wibrowania mieszanki sił, które spowodowały awarię. Ciśnieniem hydrostatycznym masy betonowej obciążone zostały ściągi stalowe, niosące w tym rozwiązaniu rozciąganie od wyporu ustroju.

Rys. 11. Rozwiązanie deskowania belki Bż-6, nadające projektowany kształt geometryczny (po lewej), detal wzmocnienia deskowania przed drugim betonowaniem (opis w tekście); źródło: fotografie własne autora



Rozkład sił w szalunku, bezpośrednio po ułożeniu w nim mieszanki betonowej, przedstawiono na kolejnym rysunku – kolorem czerwonym oznaczono siły ściskające, kolorem niebieskim siły rozciągające w jego elementach (rys. 7b). Dokumentację fotograficzną opisanego procesu betonowania, obrazującą poszczególne kroki związane z jej robotami ciesielskimi, przedstawiono na rysunkach 8-12.

3. Podsumowanie

Najczęstszym powodem awarii deskowań na placach budów jest zbyt mała sztywność pionowych elementów formujących, powodująca pęknięcia zamków na łączach płyt lub zerwanie rozciąganych ściągów stalowych, wywołane parciem mieszanki.

Awaria szalunku belki żelbetowej Bż-6 na budowie hali sportowej w Lubszy ukazuje przypadek zachowanej sztywności ustroju: nie przewidziano natomiast utraty jego globalnej stateczności. Pomimo więc sprawdzonych, gotowych rozwiązań systemowych dla deskowań nieodzownym elementem organizacji robót betonowych jest każdorazowa analiza techniczna, gdyż



Rys. 12. Belka Bż-6 po rozdeskowaniu płyt i ściągów stalowych; źródło: fotografie własne autora

sam kształt geometryczny przekroju elementu budowlanego może wygenerować nieprzewidziane siły, prowadzące do niepożądanych rezultatów.

Warto również zwrócić uwagę, że wprowadzone wzmocnienie ustroju deskowania odpowiadało tu tylko za zachowanie stateczności globalnej całego ustroju w trakcie betonowania – pominiętej w pierwszym podejściu ciesielskim.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bajorek G., Stonina S., Odbiór deskowań do konstrukcji z betonu, Inżynier Budownictwa 4/2017
- [2] Marcinkowski R., Krawczyńska A., Wybór systemu i planowanie wykorzystania deskowań w wykonawstwie monolitycznych konstrukcji betonowych, Przegląd Budowlany 3/2009
- [3] Ignatowski P., Deskowania. Najczęstsze błędy przy ich doborze, Inżynier Budownictwa 10/2011
- [4] Orłowski Z., Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [5] Biruk S., Jaśkowski P., Dobór elementów deskowania ścian z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych, Budownictwo i Architektura 12(1)2013
- [6] Drozd W., Zima K., Deskowania systemowe jako element kształtujący współczesną architekturę – analiza techniczno-ekonomiczna, Świat Nie-ruchomości, 2009
- [7] Jamroży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2015
- [8] Orłowski Z., Wrzos T., Turczyński K., Optymalizacja doboru deskowań ramowych ściennych, Inżynier Budownictwa 5/2013
- [9] Biruk S., Jaśkowski P., Optymalizacja wykorzystania zasobów odnawialnych podczas realizacji obiektów liniowych, Materiały budowlane 6/2016
- [10] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Kontrola robót betonowych i żelbetowych w trakcie ich realizacji i odbioru, Wydawnictwo Wolters Kluwer, Warszawa, 2009
- [11] Czemplik A., Irzyk M., Ocena technologiczności projektów budowlanych Civil and Environmental Engineering 2/2011
- [12] Drozd W., Deskowanie na współczesnej budowie – czyli systemowe kształtowanie betonu, Builder Polska, 10/2021
- [13] Jaśkowski P., Tomczak M., Problem minimalizacji przestojów w pracy brygad generalnego wykonawcy w harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych, Przegląd Naukowy, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 76/2017
- [14] Jackiewicz-Rek W., Kuniczuk K., Ocena jakości betonu architektonicznego w konstrukcji, Inżynier Budownictwa 12/2013