XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Dr inż. BOGDAN PODOLSKI, *bgpodolski@poczta.onet.pl*
Dr inż. MICHAŁ PODOLSKI, *michal.podolski@pwr.wroc.pl*
Politechnika Wrocławska
Mgr inż. TOMASZ BARTOSIK, *eproj@op.pl*
EURO-PROJEKT, Wrocław

PRZECIĄŻENIE ZAPROJEKTOWANEJ Z NADMIERNYM UPROSZCZENIEM NIECKI BASENOWEJ I SPOSÓB JEJ WZMOCNIENIA

OVERLOADING OF SWIMMING POOL DESIGNED WITH OVERSIMPLIFICATION AND THE METHOD OF STRENGTHENING

Streszczenie Przedstawiono przypadek żelbetowej niecki basenu kąpielowego zaprojektowanego w latach 70. ubiegłego wieku przez jedno ze znanych, krajowych biur projektowych. Konstrukcja tej niecki tylko pozornie była prawidłowo zaprojektowana, a w rzeczywistości jej płyta denna była obliczona niewłaściwie i znacznie przeciążona. Na podstawie analizy przestrzennego modelu niecki wyjaśniono przyczynę przeciążenia oraz przedstawiono zrealizowaną później koncepcję wzmocnienia.

Abstract The paper presents a case of reinforced concrete swimming pool, which was designed in 70's last century by well-known design office in Poland. Its structure was seemingly well-designed, but in fact the bottom was incorrectly designed and overloaded. In order to establish reason of overloading of the bottom a 3D model was analyzed. The idea of strengthening, which was carried out, also is presented.

1. Opis konstrukcji basenu

Konstrukcja basenu wykonana została jako żelbetowa monolityczna w postaci zbiornika o rzucie prostokątnym, usytuowanego wewnątrz budynku basenu i oddylatowanego od pozostałych elementów (rys. 1, 2). Główną konstrukcję nośną basenu stanowi płyta żelbetowa o grubości 20 cm, oparta na poprzecznych i podłużnych żebrach, połączona z nimi monolitycznie. Niecka basenowa opiera się na słupach usytuowanych na przecięciu osi żeber obu kierunków, słupy zaś na żelbetowych stopach fundamentowych. Płyta denna basenu jest w przekroju podłużnym usytuowana w pochyleniu, odpowiednio do założonej, zmiennej głębokości basenu.

Ściany zewnętrzne basenu są monolitycznie połączone ze skrajnymi żebrami płyty dennej, przy czym grubość tych ścian jest różna (wynosi 15 i 30 cm).

Charakterystyczne dane konstrukcji basenu:

- długość basenu liczona w osiach skrajnych słupów – 25,00 m,
- szerokość basenu liczona w osiach skrajnych słupów – 12,50 m,
- szerokości żeber – 50 cm,

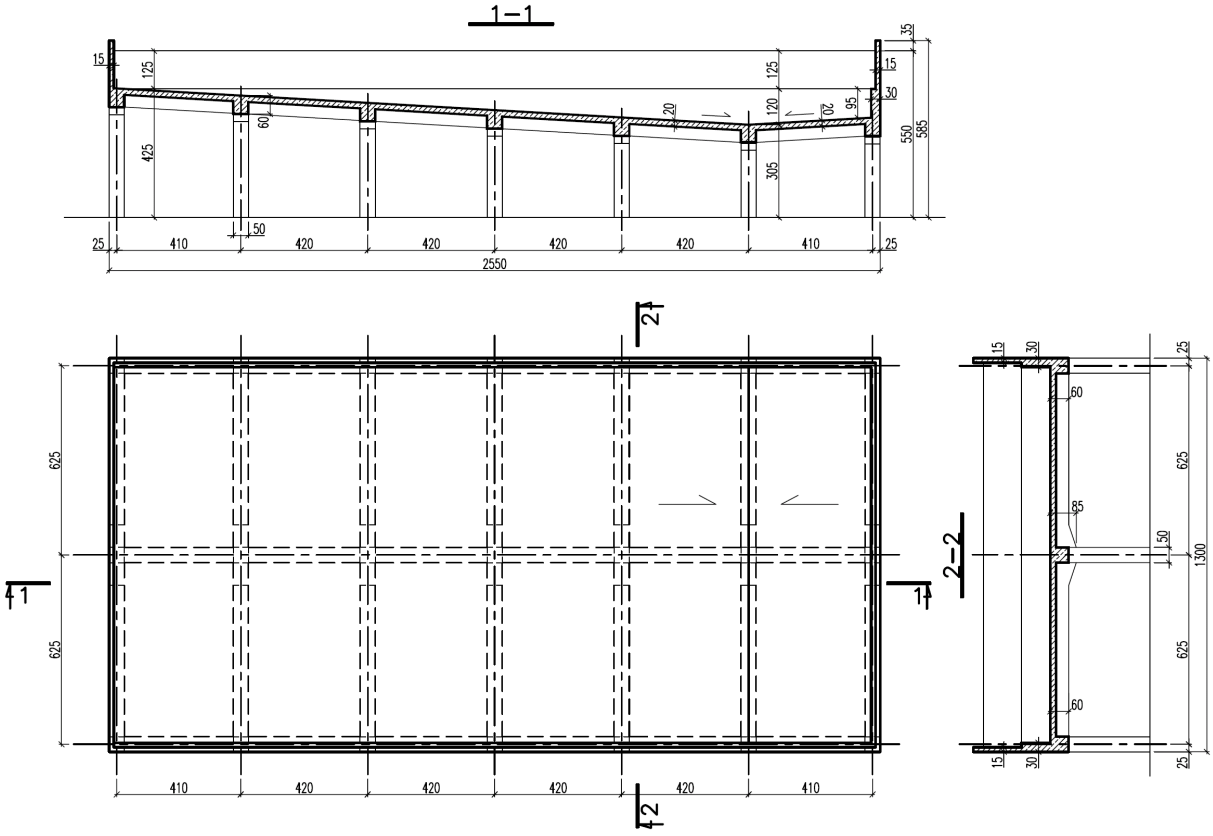
- klasa betonu przyjęta w pierwotnym projekcie – R_w = 20 MPa, co odpowiada klasie B17,5,

stal zbrojeniowa przyjęta w projekcie: w płycie dennej klasy A-0, zbrojenie główne w żebrach i słupach A-III, zbrojenie ścian basenu A-0.

Projekt budynku wraz z basenem wykonano w1974 r., zaś obiekt wzniesiono w stanie surowym w końcu lat 70. ubiegłego wieku. W roku 1983 dokonano zmian w dokumentacji projektowej obiektu w zakresie ścian osłonowych budynku i instalacji. Prace wykończeniowe miały miejsce dopiero na początku lat 90. ubiegłego wieku i wówczas basen oddano do eksploatacji.

W latach 2001/2002 wykonano gruntowny remont basenu, w tym m.in.:

- wymieniono instalację technologiczną i wyposażenie,
- w związku z wymianą wyposażenia, a także zastosowaniem nowego przelewu, wykonano przebudowę basenu, w ramach której podwyższono i wzmocniono ściany (zwiększono głębokość basenu),
- wzmocniono płytę denną basenu za pomocą taśm kompozytowych z włókien węglowych klejonych na dolnej powierzchni, równolegle do podłużnej osi niecki (rys. 3),
- wykonano iniekcję rys o większych rozwarciach, występujących w elementach nośnych niecki basenowej, za pomocą żywicy epoksydowej,
- przeprowadzono prace wykończeniowe obejmujące nieckę basenową oraz zaplecze.



Rys. 1. Niecka basenu

2. Uszkodzenia żelbetowej konstrukcji niecki basenowej

W przeciągu czterech lat od zakończenia ww. remontu w niecce basenowej zaobserwowano uszkodzenia, które zaniepokoiły zarządcę obiektu i spowodowały rozpoczęcie przez

autorów niniejszego referatu stosownych prac badawczych. Przeprowadzone oględziny wykazały, że poprzedni remont niecki dał mierne rezultaty, gdyż stwierdzone zostały następujące uszkodzenia i nieprawidłowości:

- liczne rysy na powierzchniach belek, o rozwarciu 0,1–0,4 mm, w przeważającej większości wzdłuż strzemion,
- rysy na dolnej powierzchni płyty dennej, o kierunku równoległym do osi podłużnej basenu (i równocześnie równoległym do kierunku taśm z włókien węglowych), o rozwarciu jak poprzednich, w przeważającej większości pokrywające się z osiami zbrojenia głównego,
- rysy w ścianach podłużnych niecki, o kierunku zbliżonym do pionowego i o rozwarciu na tynku ok. 0,1 mm, zaś w konstrukcji do 1,0 mm (taką rysę stwierdzono również w odwiercie na głębokości 20 cm),
- przeciek wody ze ściany podłużnej, aktywny mimo poprzednio wykonanej iniekcji uszczelniającej, a także drugi przeciek w obrębie dylatacji oddzielającej nieckę od pozostałej konstrukcji,
- pęknięcia posadzki w kondygnacji pod basenem przebiegające w osiach słupów, o rozwarciu do ok. 2 mm.

Na całej powierzchni konstrukcji występowały licznie miejsca, w których otulina zbrojenia nie przekracza kilku milimetrów, a lokalnie pręty były jej całkowicie pozbawione. Na prętach zbrojeniowych stwierdzono jednak występowanie jedynie korozji powierzchniowej pomimo tego, że na znacznych obszarach zbrojenie znajdowało się w strefie betonu skarbonatyzowanego.

Rys. 2. Widok ogólny niecki basenowej

Rys. 3. Dolna powierzchnia niecki z widocznymi istniejącymi wzmocnieniami taśmami z włókien węglowych

3. Badania i ich analiza

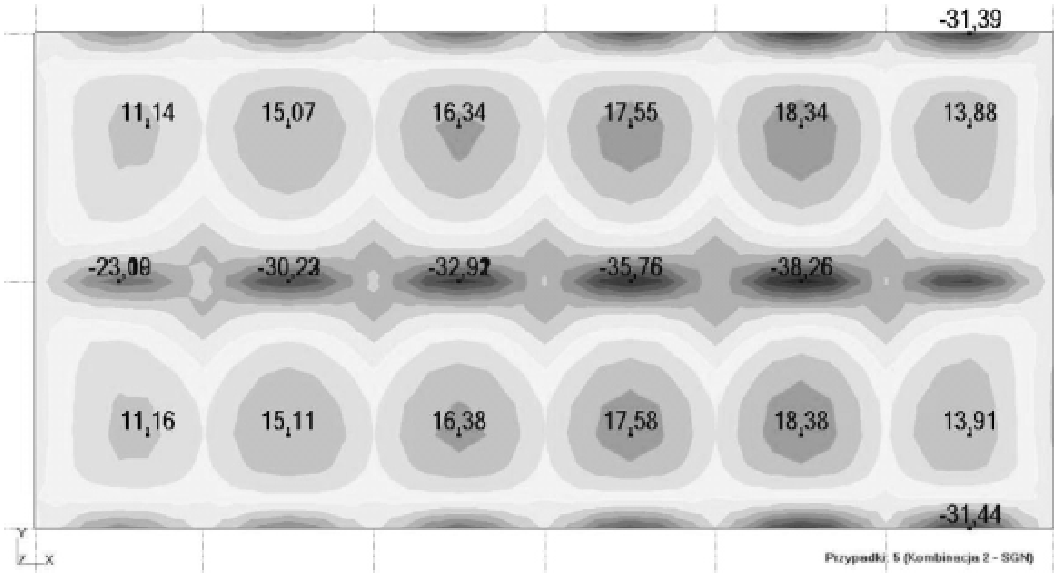
Wyniki badań betonu, z którego wykonano nieckę basenową, były następujące:

- wytrzymałość badana na próbkach z odwiertów, jak również oceniona sklerometrycznie odpowiadała klasie B20, a więc wyższej niż zakładał to projektant,
- wytrzymałość na odrywanie betonu określana metodą „pull-off" przekraczała 1,5 MPa, co umożliwia prowadzenie robót naprawczych i zabezpieczających,
- średnia głębokość karbonatyzacji betonu wynosiła 19 mm, zaś maksymalna 25 mm, w związku z czym większość zbrojenia nie była chroniona przed korozją przez otulinę betonową,
- nie wykazano obecności w betonie soli (chlorków, siarczanów, azotanów i azotynów) w stężeniach niebezpiecznych dla konstrukcji żelbetowej.

Autorzy dysponowali oryginalnymi obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi wykonanymi przez projektanta obiektu. Obliczenia te wykonano tradycyjnie, dla płaskich, belkowych schematów statycznych żelbetowych żeber oraz dla płyty dennej, którą potraktowano jako jednokierunkowo zbrojoną opierającą się na poprzecznych żebrach. Mimo iż obliczenia dla przyjętych schematów statycznych były poprawne, to dla skontrolowania rzeczywistego wytężenia elementów konstrukcyjnych basenu, w ramach niniejszego zadania, przeprowadzono sprawdzające obliczenia dla modelu przestrzennego. Utworzono model niecki basenowej w postaci przestrzennej powłoki złożonej ze ścian i płyty dennej, zespolonej z żelbetowymi żebrami, które opierały się na słupach. W miarę możliwości uwzględniono rzeczywiste rozmiary elementów, przyjęto rodzaje zbrojenia wg pierwotnej dokumentacji projektowej. Obliczenia statyczne oraz wytrzymałościowe przeprowadzono przy użyciu programu Robot Millennium. Rezultaty obliczeń obejmowały:

- siły wewnętrzne,
- deformacje,
- szerokości rozwarcia rys,
- wymagane zbrojenie elementów.

Spośród uzyskanych rezultatów na rys. 4 przedstawiono charakterystyczny rozkład momentów zginających M_y działających w płycie dennej w kierunku krótszego rozmiaru rzutu niecki, a więc w kierunku prostopadłym do kierunku uznanego za główny.



Rys.4. Rozkład momentów zginających M_y w płycie dennej niecki basenu

Główne wnioski z analizy uzyskanych wyników obliczeń były zróżnicowane w odniesieniu do poszczególnych elementów konstrukcyjnych.

Nośności wszystkich żeber dna basenu okazały się wystarczające dla przeniesienia występujących sił wewnętrznych. W przeważającej większości przęseł żeber były spełnione warunki stanów granicznych użytkowalności, jedynie w jednym przęśle stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego rozwarcia rys o ok. 15%, zaś w dwóch przypadkach rozwarcia rys ukośnych przekraczały o ok. 20% i 30% wartość dopuszczalną.

Nośności ścian basenu można uznać za zadowalające, bowiem tylko w dwóch miejscach występowały niedobory nośności o wartościach ok. 2% i ok. 15%, które można uznać za niestwarzające zagrożenia.

Bardziej złożona sytuacja występowała w płycie dna basenu. Płyta ta była projektowana jako wieloprzęsłowa, opierająca się na poprzecznych żebrach i mająca zbrojenie główne w kierunku krótszej rozpiętości poszczególnych pól oraz prostopadłe do niego zbrojenie rozdzielcze (to ostatnie przyjęte bez stosownej analizy obliczeniowej). Ten sposób projektowania układów płytowo-żebrowych był w latach 70. powszechny i został bez specjalnych wątpliwości zastosowany przez projektanta. Analiza przestrzenna wykazała jednak istotne różnice w rozkładach sił wewnętrznych w elementach płyty dna basenu w stosunku do rozkładów przewidywanych przez autora projektu basenu (które bezkrytycznie zaakceptował autor projektu remontu przeprowadzonego w latach 2001/2002), a mianowicie:

- przed wzmocnieniem płyty dennej za pomocą taśm z włókien węglowych niedobór głównego zbrojenia przęsłowego wystąpił jedynie w jednym przęśle i okazał się niewielki, gdyż wyniósł jedynie ok. 7%, stąd wzmocnienie płyty w tym właśnie kierunku, wykonane od spodu, nie miało wyraźnego uzasadnienia,
- nad jedną z podpór na poprzecznym żebrze w płycie wystąpił ok. 17% niedobór zbrojenia podporowego, nie została ona jednak w tym miejscu wzmocniona,
- z obliczeń przestrzennych wynikało istnienie znacznego niedoboru zbrojenia płyty dennej w kierunku prostopadłym do jej głównego zbrojenia (rys. 4 – momenty M_y), w tym:
  – w przęsłach w zakresie 17 – 48%,
  – na podporach w zakresie 13 – 75%.

Wyznaczone obliczeniowo rozwarcia rys w płycie dennej praktycznie dla wszystkich pól przekraczały wartości dopuszczalne dla obu kierunków, a maksymalne ich wartości, przed wzmocnieniem od dołu taśmami z włókien węglowych, sięgały lokalnie 0,4 mm. Można jednak przyjąć, że po tym wzmocnieniu nadmierne rysy w przęsłach, w kierunku podłużnej osi basenu, zostały zlikwidowane.

Wzmocnienie płyty dennej zwiększyło jej nośność, ale jedynie w przęsłach i to w kierunku równoległym do podłużnej osi basenu, w którym jej nośność była zadowalająca. Jak wynika z przeprowadzonych przez autorów obliczeń, przy przyjętych przekrojach i sztywnościach elementów konstrukcyjnych dna niecki, na rozkłady sił wewnętrznych, a także inne wielkości pochodne, w istotnym stopniu wpływa przestrzenna współpraca tych elementów. Przyczynę występowania w dnie basenu nadmiernych momentów zginających w kierunku prostopadłym do podłużnej osi basenu dobrze ilustruje obraz deformacji całej konstrukcji pokazany na rys. 5. Widoczne jest, że pionowe deformacje ścian i podłużnego, środkowego żebra dna basenu są małe, co wynika z ich dużej sztywności zgięciowej. Można natomiast zaobserwować znacznie większe deformacje wszystkich żeber poprzecznych, które implikują większe deformacje płyty dennej, gdyż opiera się ona na tych żebrach. W wyniku tego w płycie dna basenu pojawiają się znacznie większe od przewidywanych przez projektanta momenty zginające w kierunku prostopadłym do głównego kierunku pracy płyty, a w konsekwencji również niedobór zbrojenia i przeciążenia dla tego kierunku. Stosowanie jedynie zbrojenia konstrukcyjnego (rozdzielczego), bez odpowiedniej analizy obliczeniowej, okazało się niewłaściwe,

gdyż nie można było zakładać, iż poprzeczne żebra są praktycznie nieodkształcalne, i przeprowadzać obliczenia płyty dennej jak pasma płytowego na niepodatnych podporach. Aby żebra można było traktować jako praktycznie niepodatne ich sztywność powinna być znaczna w stosunku do sztywności płyt. Przybliżonej oceny proporcji tych sztywności można dokonać wg pracy [1], w której podany jest warunek sformułowany dla jednopolowych płyt krzyżowo zbrojonych w postaci

$$\beta = \frac{EI}{l_x D} > 5, \tag{1}$$

gdzie:

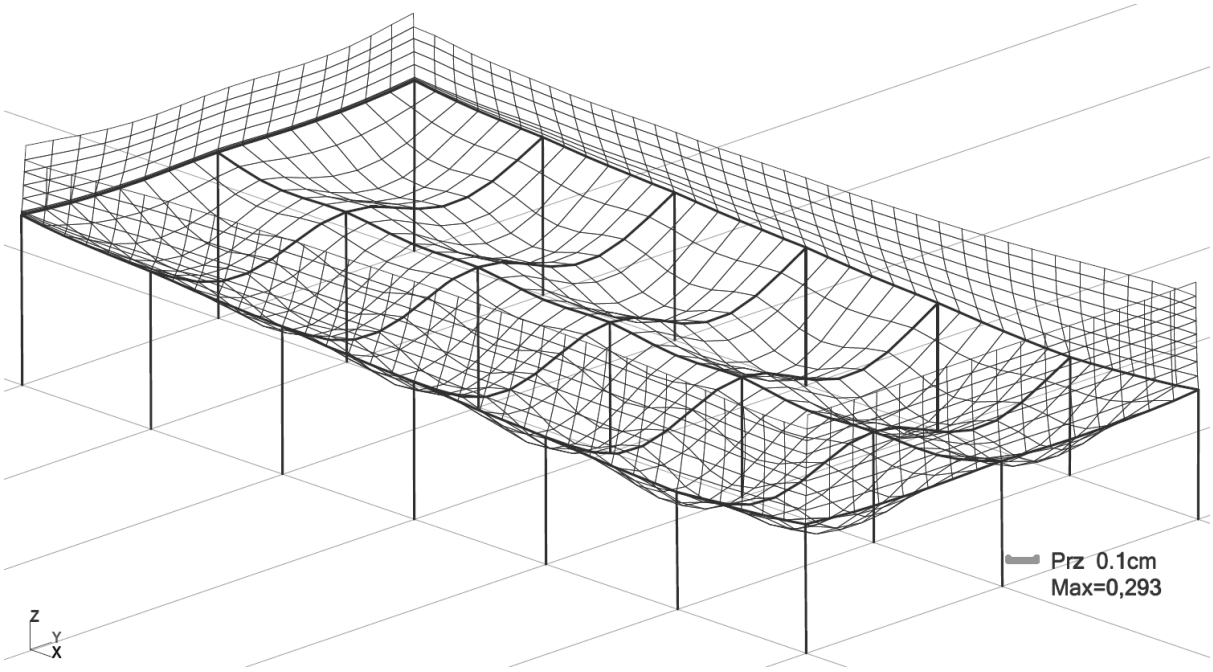
EI – sztywność żebra poprzecznego,

l_x – mniejsza rozpiętość płyty,

D – sztywność płyty.

W analizowanym przypadku dla konstrukcji dna basenu otrzymano $\beta = 3{,}38 < 5$, co potwierdza konieczność uwzględniania wpływu deformacji żeber poprzecznych na rozkład momentów zginających w płycie, a więc konieczność analizy basenu jako konstrukcji przestrzennej.

Niedobory zbrojenia płyty dennej w kierunku prostopadłym do podłużnej osi basenu, sięgające wartości ok. 45% w przęsłach i 75% nad podporami, są bardzo znaczne, zaś ich wyrazem są towarzyszące rysy o nadmiernych rozwarciach, stwierdzone obliczeniowo i występujące w obiekcie. Oceniono, iż wynikające z tych niedoborów przeciążenia nie stanowią jeszcze bezpośredniego zagrożenia bezpieczeństwa basenu, gdyż mimo opisanych nieprawidłowości płyta ma w dalszym ciągu skuteczne oparcia na żebrach poprzecznych, których nośność jest zadowalająca. Ponadto dzięki wzmocnieniu płyty w przęsłach za pomocą taśm z włókien węglowych ich nośność w kierunku osi podłużnej basenu powiększyła się. Niedobór zbrojenia podporowego w płycie w kierunku poprzecznym może skutkować powstaniem rys o nadmiernych rozwarciach od strony wody, w efekcie nieszczelnością niecki, przeciekami i rozwojem korozji stali zbrojeniowej. Przy 75% niedoborze zbrojenia jego lokalne uplastycznienie nad podporą wzdłuż środkowego żebra dna basenu jest prawdopodobne.



Rys. 5. Deformacja konstrukcji niecki basenowej

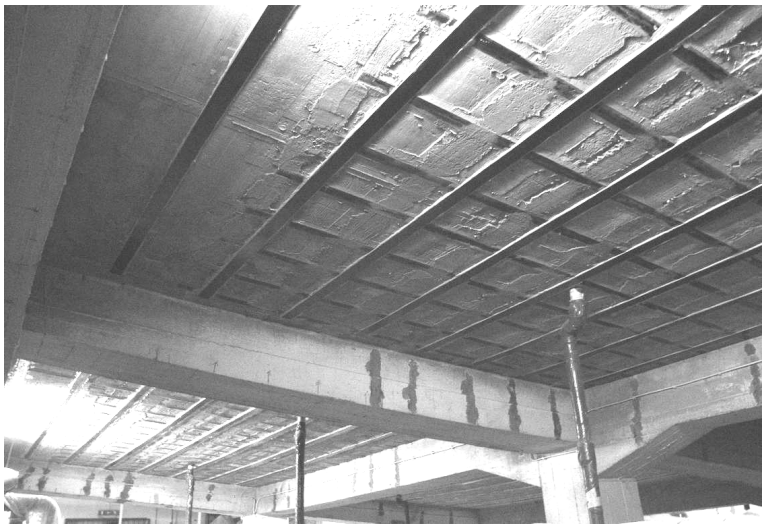
4. Zaproponowany i zrealizowany zakres remontu niecki basenowej

Analizowano poniższe warianty wzmacniania dna basenu:

a) zwiększenie sztywności żeber poprzecznych przez:
- powiększenie ich przekroju tworząc żelbetowe belki – ściany,
- oparcie żeber na ścianach murowanych posadowionych na ławach fundamentowych,
- usztywnienie żeber za pomocą stalowych ram opartych na istniejących stopach fundamentowych,

b) zachowanie obecnej sztywności żeber poprzecznych, natomiast wzmocnienie płyty dennej za pomocą taśm z włókien węglowych, które byłyby przyklejane do dolnej powierzchni płyty, we wszystkich polach, prostopadle do istniejących taśm, a ponadto od góry, nad podporami, w tym samym kierunku, oraz dodatkowo dozbrojenie stref połączenia płyty dennej ze ścianami za pomocą prętów zbrojeniowych wklejanych w konstrukcję przy użyciu żywicy epoksydowej.

Zaproponowany do wdrożenia i wybrany został wariant b) ze względu na mniejszą od pozostałych ingerencję w konstrukcję i mniejszy zakres robót. Wzmocnienie to zostało w krótkim czasie zrealizowane, przy czym wykonano też inne istotne prace, takie jak: iniekcja rys i pęknięć, zabezpieczenie antykorozyjne odsłoniętych prętów zbrojeniowych i reprofilacja betonu.



Rys. 6. Płyta niecki basenu po wykonaniu dodatkowych wzmocnień taśmami z włókien węglowych

5. Podsumowanie

Przedstawiony przykład przeciążenia żelbetowej niecki basenowej jest o tyle charakterystyczny, że przeciążenie to nie zostało zidentyfikowane również przez poprzedniego eksperta, w związku z czym wykonano nieprawidłowe i praktycznie niepotrzebne wzmocnienie płyty dennej. Pierwotną przyczyną tej sytuacji było zastosowanie przez projektanta basenu nieprawidłowego, uproszczonego schematu statycznego konstrukcji dna basenu, nie uwzględniającego proporcji sztywności poszczególnych elementów. Stosowanie uproszczonych schematów obliczeniowych złożonych konstrukcji przestrzennych wymaga odpowiedniego doświadczenia inżynierskiego i dobrze sprawdza się głównie we wstępnych fazach projektowania [2]. Błędy w poprzedniej eksperckiej ocenie niecki basenowej, wynikające z pominięcia analizy statycznej obiektu jako konstrukcji przestrzennej, naraziły inwestora na dodatkowe koszty związane z koniecznością ponownego wykonywania prac remontowych. W omawianym w referacie przypadku występujące przeciążenie konstrukcji basenu nie skutkowało bezpośrednim zagrożeniem

bezpieczeństwa, a jedynie przeciekami wody i rozwojem korozji zbrojenia. Umożliwiło to kontynuację, pod nadzorem, eksploatacji obiektu, zaś wzmocnienie niecki basenowej nie było nadmiernie kłopotliwe. Opisany przypadek nie jest odosobniony i zwraca ponownie uwagę na potrzebę fachowej weryfikacji projektów i opracowań eksperckich.

Literatura

1. Starosolski W.: Stropy monolityczne. Zasady projektowania z przykładami obliczeń, Centralny Ośrodek Badawczo – Projektowy Budownictwa Ogólnego, Warszawa 1994.
2. Kuś S., Kwieciński J.: Współpraca konstruktora z architektem w procesie projektowania obiektów. Przykłady wybitnych konstrukcji**.** Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk 2007.