

Projekt konstrukcji przekrycia pływalni miejskiej

Mgr inż. Anna Małgorzata Sęk, dr hab. inż. Jolanta Anna Prusiel, prof. uczelni – promotor,
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach coraz częściej zwraca się uwagę na hasło „Sport to zdrowie”, ponieważ tempo życia jest coraz większe, a ludzie nie mają czasu na aktywność fizyczną. Jednak daje nam ona wiele korzyści, nie tylko wpływa na poprawę zdrowia i kondycji, ale również pozytywnie oddziałuje na nasz nastrój. Obecnie istniejące pływalnie miejskie są coraz mniej atrakcyjne, nie nadążają za standardami życia, a czasami nawet nie zapewniają komfortu użytkowego i sanitarnego. Obiekty użyteczności publicznej powinny nie tylko zaspokajać wymagania ludzi, ale też pełnić funkcję reprezentacyjną. W pogoni za modnymi trendami i innowacyjnością tworzone są oryginalne formy. We współczesnej architekturze często stosowane są przekrycia powłokowe, które dają duże możliwości architektom.

Celem pracy dyplomowej było zaproponowanie i przeanalizowanie dwóch wariantów żelbetowej konstrukcji przekrycia powłokowego pływalni miejskiej oraz wybranie do dalszych obliczeń wytrzymałościowych wariantu korzystniejszego. Obliczenia statyczne konstrukcji przekrycia przeprowadzono przy użyciu programu Robot Structural Analysis 2018 [13]. W celu weryfikacji przyjętego modelu numerycznego przekrycia wykonano obliczenia analityczne metodą analogii belkowej [1]. Zwymiarowano konstrukcję żelbetową metodami analitycznymi, a niektóre elementy konstrukcyjne przekrycia sprawdzono również przy użyciu programu [13]. Elementy żelbetowe konstrukcji przekrycia pływalni zaprojektowano zgodnie z europejskimi normami [4, 5, 6, 8, 9, 10].

2. Założenia architektoniczno-budowlane

2.1. Koncepcja architektoniczna obiektu

Na podstawie przeglądu literatury [2, 3] opracowano własną koncepcję architektoniczną pływalni miejskiej (rys. 1–3). Budynek ma rzut w kształcie prostokąta i składa się z dwóch brył o różnej wysokości oddzielonych dylatacją. W wyższym budynku z przekryciem w postaci powłoki walcowej znajduje się niecka basenu sportowego i rekreacyjnego, natomiast w niższej części zlokalizowany jest „świat” saun, przebieralnie oraz inne pomieszczenia sanitarno-techniczne.

Niecka basenu sportowego o powierzchni 212 m² i głębokości 3 m, złożona jest z 4 torów o długości 25 m każdy. Basen wyposażono w ruchome dno [12] pozwalające



Rys. 1. Wizualizacja pływalni miejskiej od strony zachodniej [15, 16]



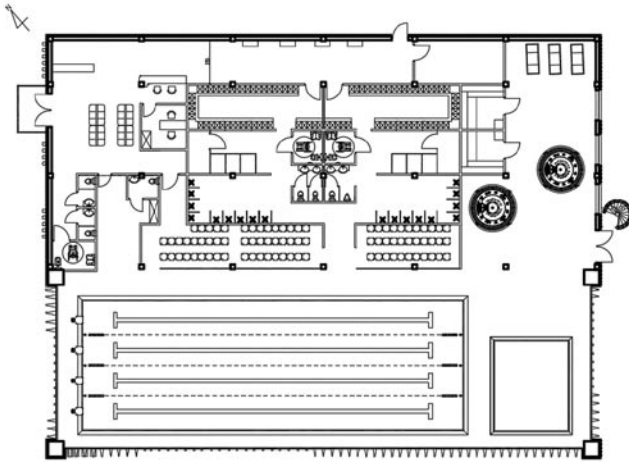
Rys. 2. Wizualizacja pływalni miejskiej od strony południowej [15, 16]



Rys. 3. Wizualizacja pływalni miejskiej od strony północnej [15, 16]

na zmianę w krótkim czasie zwykłego basenu sportowego na płytki akwen. Ruchome dno umożliwia regulowanie głębokości basenu, a więc przystosowuje nieckę do wzrostu czy umiejętności ludzi oraz różnej formy zajęć. Na hali basenowej przewidziano również powierzchnię do rekreacji i wypoczynku. Stanowi ją brodzik o wymiarach 8,6x4,8 m i głębokości 0,5–1,0 m. Oprócz basenów w strefie mokrej

zlokalizowane są trybuny dla widzów mieszczące 83 miejsca oraz pomieszczenie dla ratowników oddzielone od basenu szklanymi drzwiami (rys. 4). Wymiary budynku pływalni: długość 36,60 m, szerokość 12,60 m, powierzchnia zabudowy 1010,16 m².

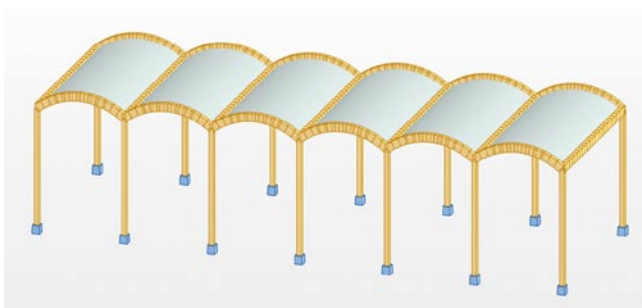


Rys. 4. Rzut parteru pływalni miejskiej [14]

Przy projektowaniu pływalni szczególną uwagę zwrócono na problem wilgoci spowodowanej parowaniem wody zarówno z powierzchni basenu, jak też z powierzchni ciała przebywających ludzi. Sprawdzono analitycznie [7] oraz za pomocą programu ArCADia Termo [17] możliwość wystąpienia w budynku kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej. Istotną kwestią było również zagwarantowanie odpowiedniej izolacyjności cieplnej ścian w obiekcie, które sprawdzono za pomocą programu [17].



Rys. 5. Widok modelu powłoki walcowej (wariant I)



Rys. 6. Widok modelu wielofalowej powłoki walcowej (wariant II)

2.2. Przekrycie pływalni miejskiej w postaci powłoki walcowej

Konstrukcję przekrycia pływalni w wariantie I zaprojektowano w postaci monolitycznej powłoki walcowej (cyldrycznej) o grubości 12 cm zamocowanej po długości w belkach węzłowych o wymiarach 45x170 cm i usztywnionej na końcach ażurową przeponą żelbetową, składającą się z belek o przekroju 45x40 cm oraz słupków o wymiarach 45x45 cm. Powłokę walcową oparto na 4 słupach o wymiarach 100x100 cm (rys. 5).

2.3. Przekrycie pływalni miejskiej w postaci wielofalowej powłoki walcowej

Jako wariant II przekrycia pływalni zaproponowano powłokę walcową wielofalową o grubości 9 cm i długości fali 12 m oraz rozpiętości fali 6 m pomiędzy belkami o wymiarach 30x50 cm. Powłokę oparto na słupach o wymiarach 30x30 cm (rys. 6).

3. Obliczenia statyczne przekrycia powłokowego

Na konstrukcję zebrano obciążenia stałe i zmienne zgodnie z aktualnymi normami europejskimi PN-EN 1991-1-1 [4], PN-EN 1991-1-3 [5], PN-EN 1991-1-4 [6] oraz PN-EN 1991-1-5 [8]. Uwzględniono obciążenia stałe w postaci ciężaru własnego elementów oraz warstw wykończeniowych. Zebrano również obciążenia użytkowe, obciążenia śniegiem (równomierne oraz nierównomierne rozłożone), obciążenie wiatrem oraz obciążenia termiczne, a także zgodnie z polską normą [11] uwzględniono wpływ skurczu betonu na odkształcenia konstrukcji przekrycia.

3.1. Wyznaczenie sił wewnętrznych w powłoce walcowej metodą numeryczną (wariant I)

Konstrukcję przekrycia walcowego zamodelowano jako powłokę 3D w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017 [13], który wykorzystuje metodę elementów skończonych polegającą na obliczaniu konstrukcji w wybranych punktach, zwanych węzłami. Natomiast pomiędzy węzłami rozkład obliczanych wartości sił wewnętrznych uzyskuje się za pomocą funkcji kształtu. Zatem im mniejsze elementy skończone, tym wyniki obliczeń są dokładniejsze. Powłoka cylindryczna została zamodelowana jako utwierdzona po obwodzie, ponieważ połączona jest monolitycznie wzdłuż belek węzłowych oraz z przeponą. Siły wewnętrzne w powłoce obliczono dla dwóch przypadków obciążenia: od obciążenia stałego (ciężar własny powłoki wraz z warstwami przekrycia) i od obciążenia śniegiem.

3.2. Wyznaczenie sił wewnętrznych w powłoce walcowej metodą analityczną (wariant I)

Do zweryfikowania poprawności obliczeń statycznych w wariantie I przeprowadzonych komputerowo wykorzystano

metodę analityczną obliczania powłok według teorii sprężystości [1], która zakłada, że:

- powłoka obciążona jest obciążeniem ciągłym,
- podparcie powłoki powoduje reakcje skierowane stycznie do środkowej powierzchni powłoki.

Obliczenia przeprowadzono metodą analogii belkowej [1], w której w przekroju podłużnym powłokę traktuje się jako belkę podpartą swobodnie, a w przekroju poprzecznym jako łuk o szerokości 1,0 m obustronnie utwierdzony. Dla łuku o przekroju kołowym zastosowano następujące wzory:

- Moment zginający na podporze od obciążenia stałego:

$$M_A = \frac{r^2 g}{36} \left[\gamma(\varphi_0) - 2\delta(\varphi_0) \sin^2\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) - 36\varphi_0 \left(\sin(\varphi_0) - \sin\left(\frac{\varphi_0}{2}\right) \right) \right] \quad (1)$$

gdzie:

r – promień krzywizny, g – obciążenia stałe oddziaływujące na powłokę wraz z ciężarem własnym powłoki, φ_0 – kąt między styczną do łuku a powierzchnią powłoki, $\gamma(\varphi_0)$, $\delta(\varphi_0)$ – współczynniki odczytane z tablicy 3.3 [1].

- Moment zginający w przęśle od obciążenia stałego:

$$M_B = \frac{r^2 g}{36} \cdot \gamma(\varphi_0) \quad (2)$$

gdzie:

r – promień krzywizny, g – obciążenia stałe oddziaływujące na powłokę wraz z ciężarem własnym powłoki, $\gamma(\varphi_0)$ – współczynniki odczytano z tablicy 3.3 [1].

- Siła normalna na podporze od obciążenia stałego:

$$N_A = \frac{r g}{36} \cdot [\delta(\varphi_0) \cos(\varphi_0) - 36\varphi_0 \sin(\varphi_0)] \quad (3)$$

gdzie:

r – promień krzywizny, g – obciążenia stałe oddziaływujące na powłokę wraz z ciężarem własnym powłoki, φ_0 – kąt między styczną do łuku a powierzchnią powłoki, $\delta(\varphi_0)$ – współczynnik odczytany z tablicy 3.3 [1].

- Siła normalna w przęśle od obciążenia stałego:

$$N_B = \frac{r g}{36} \cdot \delta(\varphi_0) \quad (4)$$

gdzie:

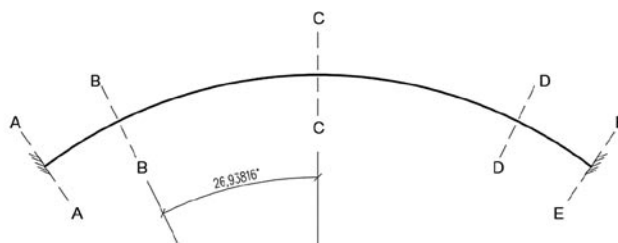
r – promień krzywizny, g – obciążenia stałe oddziaływujące na powłokę wraz z ciężarem własnym powłoki, $\delta(\varphi_0)$ – współczynnik odczytany z tablicy 3.3 [1].

- Siła tnąca od obciążenia stałego:

$$T_A = \frac{r g}{36} \cdot [\delta(\varphi_0) \sin(\varphi_0) + 36\varphi_0 \cos(\varphi_0)] \quad (5)$$

gdzie:

r – promień krzywizny, g – obciążenia stałe oddziaływujące na powłokę wraz z ciężarem własnym powłoki, φ_0 – kąt między styczną do łuku a powierzchnią powłoki, $\delta(\varphi_0)$ – współczynnik odczytany z tablicy 3.3 [1].



Rys. 7. Oznaczenia przekrojów powłoki, w których przeprowadzono obliczenia

3.3. Porównanie wyników metody numerycznej i analitycznej (wariant I)

Wartości sił wewnętrznych w powłoce obliczone dwiema metodami – numeryczną i analityczną, w przekrojach pokazanych na rysunku 7 zestawiono w tabeli 1 i 2. Jak można zauważyć, wyniki obliczeń statycznych od obciążenia stałego są bardzo zbliżone do siebie. Większe różnice pojawiły się w obliczeniach sił wewnętrznych od obciążenia śniegiem, zwłaszcza w przypadku momentów zginających oraz sił tnących. Można stwierdzić, że warunki brzegowe zostały prawidłowo założone, a siatka elementów skończonych dobrze przyjęta. Obecnie do obliczeń konstrukcji coraz częściej stosuje się metody numeryczne ze względu na krótszy czas obliczeń. Z porównania sił wewnętrznych wynika, że prawidłowo zamodelowano powłokę walcową w programie komputerowym.

Tabela 1. Wartości sił wewnętrznych w powłoce od obciążenia stałego

Metoda obliczeń statycznych	Przekrój				
	A	B	C	D	E
	Momenty zginające [kNm/m]				
Numeryczna	-1,29	0,67	-	0,67	-1,27
Analityczna	1,82	0,72	0,71	0,72	1,82
	Siły podłużne [kN/m]				
Numeryczna	-50,94	-	-42,02	-	-50,94
Analityczna	-50,65	-46,61	-41,55	-46,61	-50,65
	Siły tnące [kN/m]				
Numeryczna	-2,00	0	0	0	2,00
Analityczna	-1,83	0	0	0	1,83

Tabela 2. Wartości sił wewnętrznych w powłoce od obciążenia śniegiem

Metoda obliczeń statycznych	Przekrój				
	A	B	C	D	E
	Momenty zginające [kNm/m]				
Numeryczna	-0,55	0,28	-	0,28	-0,55
Analityczna	0,87	0,38	0,35	0,38	0,87
	Siły podłużne [kN/m]				
Numeryczna	-21,77	-	-17,96	-	-21,77
Analityczna	-20,91	-19,20	-17,53	-19,20	-20,91
	Siły tnące [kN/m]				
Numeryczna	0,85	0	0	0	-0,85
Analityczna	1,92	0	0	0	-1,32

Tabela 3. Porównanie sił wewnętrznych w powłoce walcowej z uwzględnieniem współpracy z konstrukcją wsporczą

Wykresy sił wewnętrznych w powłoce walcowej od obciążenia stałego		
	z uwzględnieniem konstrukcji wsporczej	bez konstrukcji wsporczej
Momenty zginające [kNm/m]		
Sily podłużne [kN/m]		
Sily tnące [kN/m]		

3.4. Wyznaczenie sił wewnętrznych w wielofalowej powłoce walcowej (wariant II)

Jako wariant II przekrycia pływalni zaproponowano wielofalową powłokę walcową (rys. 6). Całą konstrukcją zamodelowano i obliczono za pomocą programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional [13]. Do weryfikacji modelu numerycznego przekrycia w wariantie II wykorzystano metodę analityczną jak w przypadku powłoki walcowej w wariantie I.

3.5. Wybór wariantu rozwiązania konstrukcyjnego przekrycia pływalni

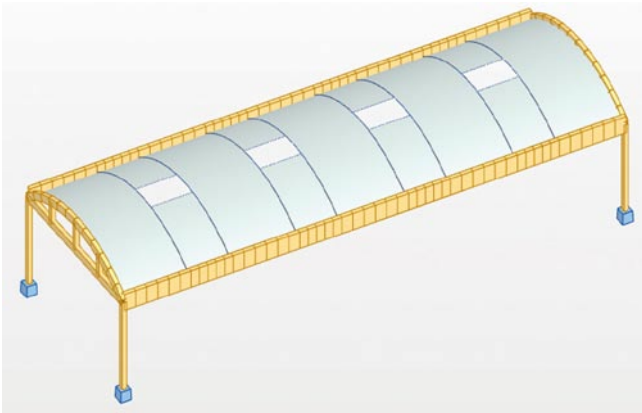
Wykonano porównanie obu wariantów pod względem otrzymanych wartości sił wewnętrznych w powłoce oraz słupach, zużycia materiałów (betonu i stali) oraz estetyki obiektu. Charakter pracy statycznej konstrukcji w obu wariantach jest zbliżony. Dodatkowo oba warianty przekrycia pływalni zamodelowano w programie Autodesk Revit 2017 [18] w celu określenia zużycia betonu. Ustalono, że zdecydowanie więcej materiału zostanie zużyte w przypadku powłoki walcowej (wariant I). Kierując się głównie technologią wykonania, jak również względami estetycznymi – do dalszych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wybrano powłokę cylindryczną (wariant I).

3.6. Wyznaczenie sił wewnętrznych w powłoce z uwzględnieniem współpracy z konstrukcją wsporczą

Za pomocą programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional [13] przeprowadzono analizę wpływu konstrukcji wsporczej przekrycia na siły wewnętrzne w powłoce walcowej w wariantie I. W modelu obliczeniowym przekrycia przyjęto elementy skończone o wymiarach 0,2 x 0,2 m i obciążono obciążeniem stałym (ciężar własny powłoki i pokrycia) oraz obciążeniem śniegiem. Wykresy sił wewnętrznych – momentów zginających, sił podłużnych i tnących w powłoce utwierdzonej na krawędziach oraz powłoce współpracującej z konstrukcją wsporczą zestawiono w tabeli 3. Wykresy sił wewnętrznych wykonano w przekroju poprzecznym powłoki walcowej w środku rozpiętości.

Z analizy statycznej wynika, że konstrukcja wsporcza ma duży wpływ na rozkład sił wewnętrznych w powłoce walcowej, co można zauważyć na wykresach momentów zginających w miejscu połączenia powłoki z belką węzłową opartą na słupach.

Do dalszych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych przyjęto model numeryczny konstrukcji przekrycia pływalni pokazany na rysunku 8. Przekrycie walcowe zaprojektowano jako monolityczne żelbetowe z otworami na świetliki.



Rys. 8. Ostateczny schemat geometryczny konstrukcji przekrycia pływalni

Mapy obwiedni momentów zginających dla stanu granicznego nośności odpowiednio na kierunku X i Y przekrycia walcowego przedstawiono na rysunkach 9 i 10.

Maksymalne ugięcie powłoki wyniosło 2,40 cm (rys. 11). Warunek stanu granicznego użyteczności został spełniony:

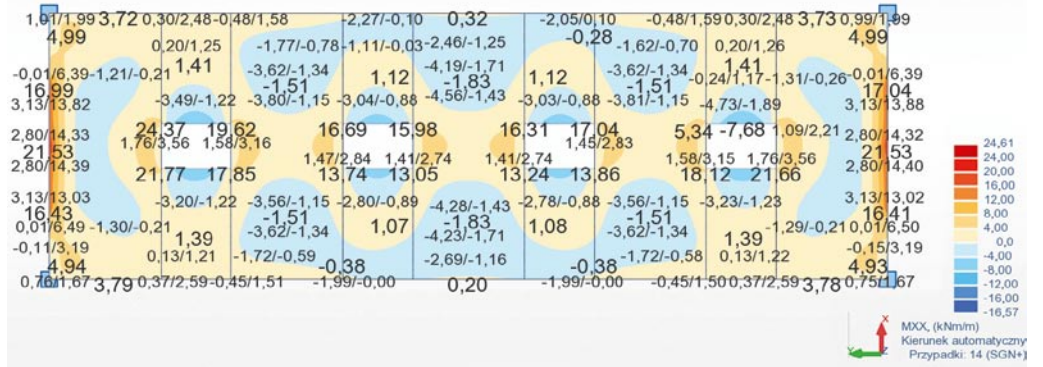
$$a = 2,4 \text{ cm} \leq a_{lim} = 4,8 \text{ cm} \quad (6)$$

4. Wymiarowanie

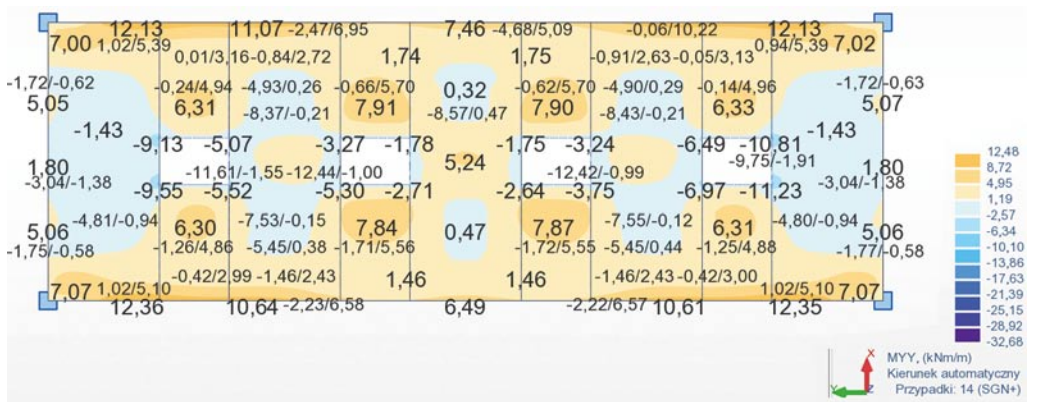
W pracy zwymiarowano elementy żelbetowe konstrukcji przekrycia pływalni miejskiej. Zbrojenie zaprojektowano zgodnie z eurokodem [10], tak by elementy konstrukcyjne przekrycia spełniały warunki stanu granicznego nośności i użyteczności. Wykonany zakres obliczeń obejmował:

- sprawdzenie nośności powłoki walcowej i wymiarowanie zbrojenia na mimośrodkowe ściskanie oraz sprawdzenie ugięcia,
- wymiarowanie zbrojenia belki węzłowej na mimośrodkowe rozciąganie, zginanie i ścinanie oraz sprawdzenie zarysowania i ugięcia,
- wymiarowanie elementów przepony (belek oraz słupków),

Rys. 9. Górna obwiednia momentów zginających w powłoce dla SGN na kierunku X [kNm/m]



Rys. 10. Górna obwiednia momentów zginających w powłoce dla SGN na kierunku Y [kNm/m]



Rys. 11. Mapa przemieszczenia powłoki dla sytuacji quasi-stałej [13]



- wymiarowanie słupów konstrukcji wsporczej z uwzględnieniem efektów II rzędu,
- sprawdzenie nośności podłoża gruntowego, osiadania fundamentów oraz wymiarowanie zbrojenia w stopach fundamentowych.

5. Podsumowanie

Praca zawiera rozszerzoną analizę statyczno-wytrzymałościową konstrukcji przekrycia budynku pływalni miejskiej. Zaproponowano dwa warianty rozwiązania konstrukcyjnego przekrycia cienkościennego, po analizie których wybrano bardziej efektywny wariant i na jego podstawie sformułowano trójwymiarowy model obliczeniowy powłoki walcowej wraz z konstrukcją wsporczą. Przeprowadzono weryfikację wyników obliczeń numerycznych konstrukcji przekrycia metodami analitycznymi. W oparciu o projekt architektoniczny pływalni opracowano wizualizację obiektu w 3D. Charakterystyczną cechą zaprojektowanej pływalni miejskiej jest duża liczba przeszkleń, która sprzyja wkomponowaniu obiektu w otaczającą przestrzeń.

Praca dyplomowa magisterska „Projekt konstrukcji przekrycia pływalni miejskiej” została nagrodzona w Konkursie PZITB Najlepsze Prace Dyplomowe Absolwentów Studiów Wyższych kierunku Budownictwo w 2019 roku.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Grabiec K., Żelbetowe konstrukcje cienkościenne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Poznań, 1998
- [2] Kappler P., Baseny kąpielowe, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1977
- [3] Neufert E., Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2010
- [3] Kobiak J., Stachurski W., Konstrukcje żelbetowe, cz. 2, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1979
- [4] PN-EN 1991-1-1:2003 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1, Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [5] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3, Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem
- [6] PN-EN 1991-1-4:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4, Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
- [7] PN-B-02025:1999 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [8] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5, Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne
- [9] PN-B-02001:1982 Obciążenia budowli – Obciążenia stałe
- [10] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część-1-1, Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [11] PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowania
- [12] <http://plywalnieibaseny.pl/ruchome-dno-czyli-jak-zwiekszyc-dochody-plywalni/> [16.09.2019]
- [13] Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 – wersja studencka
- [14] Autodesk AutoCAD 2018 – wersja studencka
- [15] Archicad 21 – wersja edukacyjna
- [16] Lumion 8.0.
- [17] ArCADia Termo 4.1. – wersja studencka
- [18] Autodesk Revit 2017 – wersja studencka

XVI KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA WARSZTAT PRACY RZECZOZNAWCY BUDOWLANEGO

Kielce – Cezdyna 26-28 październik 2020 r.

ORGANIZATORZY

- PZITB Oddział Kielce,
- Politechnika Świętokrzyska Wydział Budownictwa i Architektury

KOMITET NAUKOWO-PROGRAMOWY

Przewodniczący Prof. dr hab. inż. Leonard RUNKIEWICZ

Sekretarz Dr hab. inż. Barbara GOSZCZYŃSKA, prof. PŚk

TEMATYKA WARSZTATÓW

1. Zagadnienia formalnoprawne w działalności Rzeczoznawcy i Specjalisty Budowlanego.
2. Systemy monitoringu i nieniszczące metody badawcze stosowane w ocenie stanu technicznego obiektów budowlanych z analizą wyników i przykładami zastosowań.
3. Oceny stanów technicznych i trwałości konstrukcji z uwzględnieniem wpływu środowiska i innych oddziaływań zewnętrznych.
4. Zagadnienia obejmujące stosowanie nowoczesnych materiałów i technologii budowlanych.
5. Metody oceny właściwości cieplnych obiektów budowlanych.
6. Ocena bezpieczeństwa obiektów po pożarze.

TERMINY ORGANIZACYJNE*

15.09.2020 – Zgłoszenie uczestnictwa drogą elektroniczną: www.rzeczoznawstwo2020.tu.kielce.pl

15.09.2020 – Zamieszczenie na stronie internetowej szczegółowego programu Konferencji oraz przesłanie programu do osób przyjętych na Konferencję

15.09.2020 – Zgłoszenie promocji – drogą elektroniczną

22.10.2020 – Przesłanie do Komitetu Organizacyjnego prezentacji przygotowanych w formacie PowerPoint (*.ppt lub *.pptx)

ADRES KOMITETU ORGANIZACYJNEGO

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury „Rzeczoznawstwo 2020”

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel. +48 41 34 24 808, fax +48 41 34 43 784

e-mail: rzeczoznawstwo2020@tu.kielce.pl

www.rzeczoznawstwo2020.tu.kielce.pl

* Po przesunięciu terminu Konferencji na październik

** Uczestnicy Konferencji otrzymają zaświadczenie o odbyciu szkolenia zawodowego, wydane przez organizatorów.