

dr hab. inż. Jolanta Anna Prusiel, prof. PB<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0001-6827-1059

mgr inż. arch. Marta Hyzopska<sup>2)</sup>

ORCID: 0009-0000-8490-8822

# Static analysis of the reinforced concrete observation tower

## *Analiza statyczna żelbetowej wieży widokowej*

DOI: 10.15199/33.2025.07.08

**Abstract.** This paper presents the results of the static analysis of a reinforced concrete observation tower conducted using the finite element method. The tower structure was designed in four variants. A comparative analysis of internal forces in the reinforced concrete elements of the tower structure was carried out, focusing on axial forces in the columns and the shaft, as well as radial and tangential moments in the slabs of the observation platforms and the restaurant slab.

**Keywords:** tower structure variants; comparison of results.

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki analizy statycznej żelbetowej wieży widokowej, przeprowadzonej metodą elementów skończonych. Konstrukcję wieży zaprojektowano w czterech wariantach. Wykonano analizę porównawczą sił wewnętrznych w żelbetowych elementach konstrukcji wieży, głównie sił podłużnych w słupach i trzonie oraz momentów promieniowych i stycznych w płytach platform widokowych i restauracji.

**Słowa kluczowe:** warianty konstrukcji wieży; porównanie wyników.

Observation towers are popular construction objects in cities and areas with significant landscape values. They should meet not only structural requirements, but also architectural ones. From simple structures, often small and devoid of architectural charm, they are transformed into increasingly taller, more complex and multifunctional ones. That multifunctionality seems to be the most desirable and at the same time difficult to obtain due to the increased costs of implementation. Despite this, medium-sized observation towers with cafes or climbing walls are visible, as well as tall towers typical in large urban agglomerations.

An idea of towers has been rooted in observation of the surrounding area since the dawn of time, it was not until the 19th century that they were used for purely recreational purposes, not for military or religious ones. The most famous steel structure is the **Eiffel Tower** (Photo 1a). It was built in 1889 and measuring 324 m, it was initially only a temporary installation for the world exhibition organized in Paris, to be dismantled after its end, which was not done. Its construction cost, although more than twice as much as planned, paid off in five months after it was opened to the public. The Eiffel Tower remained the tallest structure in the world for a long time, until the 1930s. Before that, this title was held by the **Washington Monument** (Photo 1b). The stone obelisk is 169.3 m high and has an observation terrace at a height of 152 m, which can be reached by a lift located on the inside structure.

After war, the rapid advancement of technology made it possible to erect even taller and taller structures. In 1976, the **CN Tower** was built in Toronto, Canada (Photo 1c), which was the tallest structure in the world for another 40 years. It reaches 553.33 m in height and serves as a television and observation tower. It is one of the most popular tourist attractions and is visited by over 2 million people a year – with a purpose of climbing high enough to reach the terrace, located at 447 m. Currently, the CN Tower is the third tallest tower in the world. It was surpassed by

wieże widokowe są popularnymi obiektami budowlanymi w miastach i na obszarach o cennych walorach krajobrazowych. Powinny spełniać nie tylko wymagania konstrukcyjne, ale również architektoniczne. Z prostych i niewielkich konstrukcji, często pozbawionych wyrazu architektonicznego, przekształcane są w coraz wyższe, bardziej złożone i wielofunkcyjne. Ta wielofunkcyjność wydaje się być najbardziej pożądana i zarazem trudna do uzyskania ze względu na koszty realizacji. Mimo to, dostrzega się średniej wysokości wieże widokowe z kafejkami lub ściankami wspinaczkowymi oraz wysokie wieże, charakterystyczne dla dużych aglomeracji.

Idea wież od zarania dziejów bazuje na obserwacji otaczającego terenu, ale dopiero XIX w. przyniósł przeznaczenie czysto rekreacyjne, a nie militarne lub religijne jak dotychczas. Najsłynniejszą konstrukcją stalową jest **wieża Eiffla** (fotografia 1a). Zbudowana w 1889 r. konstrukcja wysokości 324 m była początkowo jedynie tymczasową instalacją na wystawę światową organizowaną w Paryżu, która miała zostać zdemontowana po jej zakończeniu, czego nie uczyniono. Koszt jej budowy, chociaż przekroczony ponaddwukrotnie od zamierzonego, zwrócił się w ciągu pięciu miesięcy po udostępnieniu obiektu dla turystów. Do lat trzydziestych XX w. wieża Eiffla była najwyższą konstrukcją na świecie. Przed nią prym ten wiodł **pomnik Waszyngtona** (fotografia 1b). Kamienny obelisk mierzy 169,3 m i ma taras widokowy na wysokości 152 m, na który można wjechać windą umieszczoną wewnątrz konstrukcji.

Szybki postęp techniki po wojnie umożliwił wznoszenie coraz wyższych budowli. W 1976 r. zbudowana została **wieża CN Tower w Toronto w Kanadzie** (fotografia 1c), która aż przez 40 lat była najwyższą budowlą na świecie. Mierzy 553,33 m i służy jako wieża telewizyjna oraz widokowa. Jest to jedna z najpopularniejszych atrakcji turystycznych, którą rocznie odwiedza ponad 2 mln osób, chcących wejść na taras położony na wysokości 447 m. Obecnie CN Tower jest trzecią najwyższą wieżą na świecie. Została przewyższona przez **Canton Tower** w 2009 r. i **Tokyo Skytree** w 2012 r. (fotografia 1d). Pierwsza wieża ma wysokość 600 m i hiper-

<sup>1)</sup> Białystok University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Environmental Sciences

<sup>2)</sup> Białystok University, absolvent

<sup>\*)</sup> Correspondence address: j.prusiel@pb.edu.pl

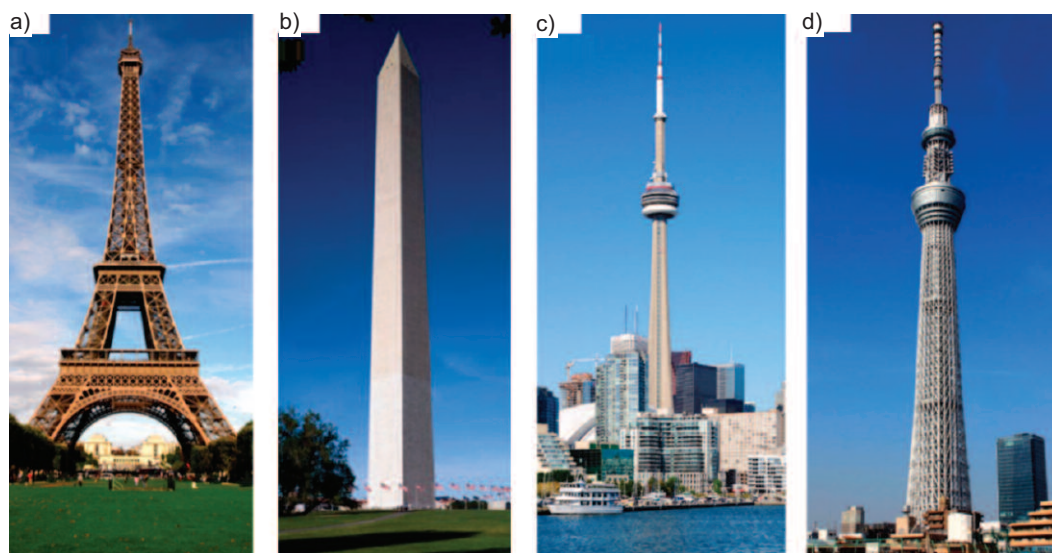


Photo. 1. Observation towers: a) Eiffel Tower (France) [1]; b) Washington Monument (USA) [2]; c) CN Tower (Canada) [3]; d) Tokyo Skytree (Japan) [4]

Fot. 1. Wieże widokowe: a) wieża Eiffla (Francja) [1]; b) Pomnik Waszyngtona [2]; c) CN Tower (Kanada) [3]; d) Tokyo Skytree (Japonia) [4]

the **Canton Tower** in 2009 (Photo. 1d) and the **Tokyo Skytree** in 2012 (Photo. 1e). The first tower is 600 m high and has a hyperboloid shape. Meanwhile, the Tokyo Skytree is 634 m high and currently is the tallest observation tower in the world.

Observation towers and lookouts located outside cities are mainly wooden and steel structures, which, despite their low heights, usually reaching up to fifty meters, impress with their unusual forms. One of the most interesting observation towers is located in **Tielt-Winge in Belgium** and was built in 2015. The structure, resembling a stairway to heaven, is made of steel sections and rises over 10 m above the ground.

Observation towers with steel structures are: in **Elk**, 19 m high, built in 2021 (Photo. 2), in **Kirkilu in Lithuania**, 32 m high, built in 2015 or in **Haslev in Denmark**, 45 m high, built in 2017. However, there is no shortage of traditionally built observation towers made of wood, as the one recently built in **Krynica-Zdrój** (Photo. 3) which rises to 49.5 m and allows for a walk among the trees.

For relatively small structures such as observation towers in rural areas, reinforced concrete is used much less often. However, it also allows for interesting architecture, especially in combination with steel elements. As an example may serve the **tower in Nanchang** (Photo. 4) with a reinforced concrete core, completed in 2019, or the **tower in Tengchong, China**, which is only a conceptual design.

boloidalny kształt. Natomiast Tokyo Skytree o wysokości 634 m jest obecnie najwyższą wieżą widokową na świecie.

Wieże widokowe i obserwacyjne zlokalizowane poza miastami to głównie konstrukcje drewniane i stalowe, które mimo niewielkiej wysokości, z reguły do pięćdziesięciu metrów, nieraz zachwycają niezwykle formami. Jedną z ciekawszych jest **wieża widokowa w Tielt-Einge w Belgii** zbudowana w 2015 r. Konstrukcja przypomina schody do nieba wykonana z kształtowników stalowych wznosi się ponad 10 m nad ziemię.

Konstrukcje stalowe mają też **wieżę widokowe: w Elku** o wysokości 19 m wzniesiona w 2021 r. (fotografia 2), **w Kirkilu na Litwie** o wysokości 32 m z 2015 r., czy **w Haslev w Danii** o wysokości 45 m z 2017 r. Nie brakuje jednak tradycyjnie budowanych **wież widokowych z drewna**, jak niedawno wzniesiona **w Krynicy-Zdroju** (fotografia 3) na wysokość 49,5 m umożliwiającą spacer wśród drzew.

Do stosunkowo niewielkich konstrukcji, jakimi są wieże widokowe na terenach pozamiejskich, o wiele rzadziej wykorzystywany jest żelbet. Jednak i on pozwala uzyskać ciekawą architekturę zwłaszcza w połączeniu z elementami stalowymi. Przykładem jest zrealizowana w 2019 r. **wieża w Nanchang** (fotografia 4) z żelbetowym trzonem, czy będąca jedynie projektem koncepcyjnym **wieża w Tengchong w Chinach**.



Photo 2. Observation tower in Elk [5]  
Fot. 2. Wieża widokowa w Elku [5]

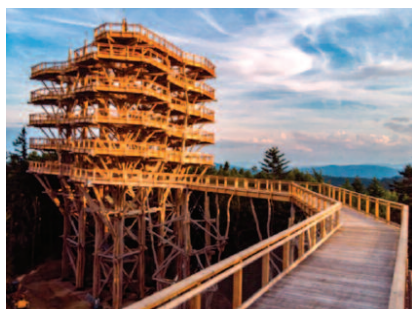


Photo 3. Observation tower in Krynica-Zdrój [6]  
Fot. 3. Wieża widokowa w Krynicy-Zdroju [6]



Photo 4. Observation tower in Nanchang (China) [7]  
Fot. 4. Wieża widokowa w Nanchang (Chiny) [7]

The presented observation tower structures show their great diversity both in terms of architecture as well as of construction solutions. In cities, there are erected tall structures measuring several hundred meters being built, while in parks and reservations the towers do not typically exceed 50 meters in height. New observation towers are characterized by a modern, futuristic architecture, which is intended to attract as many tourists as possible. Aesthetics are a key point in the design of contemporary structures of this type.

This article presents a static analysis of a reinforced concrete observation tower in four structure variants, with different aesthetic options and degrees of difficulty when it comes to construction. It was assumed that the supporting structure of the building would be an exposed element. It was also ensured that the designed tower could fulfill an additional function as a restaurant. The structure in question was located in Elk, in north-eastern Poland.

## Characteristics of observation tower structure

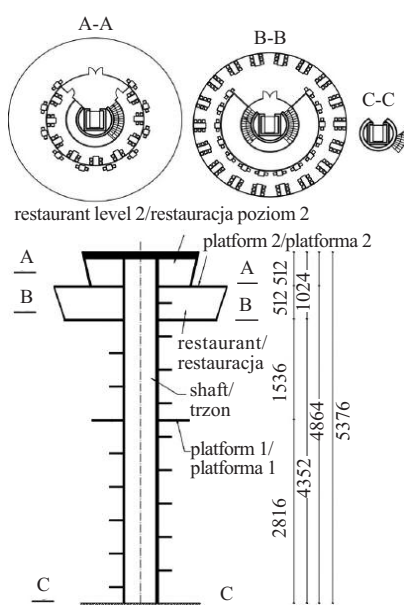
Each of the four variants of the reinforced concrete structure of the tower, is a variation of the basic model of the tower shown in Figure 1. It consists of a cylindrical shell forming a tower shaft with variable thickness from 50 cm at the base to 30 cm at the crown, to which four annular slabs are attached (the diameter and thickness of the slabs are given in brackets): observation platform No. 1 ( $D_1 = 14$  m,  $h_1 = 0.16$  m), restaurant slab ( $D_2 = 22$  m,  $h_2 = 0.30$  m), observation platform No. 2 ( $D_3 = 25$  m,  $h_3 = 0.35$  m) and flat roof ( $D_4 = 16.8$  m,  $h_4 = 0.16$  m). The flights of stairs and landings in every designed tower are cantilevered in the shaft shell. It was assumed that the lift shaft inside the passenger core is independent and does not affect the static operation of the facility. The characteristic of each variant of observation tower was described in Table 1.

Przedstawione konstrukcje wież obserwacyjnych pokazują ich wielkie zróżnicowanie zarówno pod względem architektonicznym, jak i konstrukcyjnym. W miastach wznoszone są obiekty o wysokości kilkuset metrów, natomiast w parkach i rezerwatach nie przekraczają 50 m. Nowo powstające wieże widokowe charakteryzują się nowoczesną, futurystyczną architekturą, która ma za zadanie przyciągnąć jak największą liczbę turystów. Estetyka jest kluczowym punktem projektowania współczesnych tego typu konstrukcji.

W artykule przeprowadzono analizę statyczną żelbetowej wieży widokowej w czterech wariantach konstrukcyjnych, o różnych walorach estetycznych i stopniu trudności wykonania. Założono, że konstrukcja nośna będzie elementem eksponowanym. Zadbano też, aby zaprojektowana wieża mogła pełnić dodatkową funkcję restauracyjną. Omawianą konstrukcję zlokalizowano w Ełku położonym w północno-wschodniej Polsce.

## Charakterystyka konstrukcji wieży widokowej

Każdy z czterech analizowanych wariantów żelbetowej konstrukcji wieży jest wariacją modelu bazowego pokazanego na rysunku 1. W jego skład wchodzi cylindryczna powłoka tworząca trzon zmiennej grubości od 50 cm przy podstawie do 30 cm w koronie, do której zamocowane są cztery płyty pierścieniowe (podano odpowiednio średnicę i grubość płyt): platforma widokowa 1 ( $D_1 = 14 \text{ m}$ ,  $h_1 = 0,16 \text{ m}$ ); płyta restauracji ( $D_2 = 22 \text{ m}$ ,  $h_2 = 0,30 \text{ m}$ ); platforma widokowa 2 ( $D_3 = 25 \text{ m}$ ,  $h_3 = 0,35 \text{ m}$ ) oraz stropodach ( $D_4 = 16,8 \text{ m}$ ,  $h_4 = 0,16 \text{ m}$ ). Biegi schodowe i spoczniki w zaprojektowanych wariantach wieży zostały zamocowane wspornikowo w powłoce trzonu. Założono, że szyb dźwigu osobowego wewnątrz trzonu jest niezależny i nie wpływa na pracę statyczną obiektu. Charakterystykę poszczególnych wariantów wieży widokowej przedstawiono w tabeli 1.



**Fig. 1. Schematic diagram of the basic model of the observation tower structure**  
*Rys. 1. Schemat modelu bazowego konstrukcji wieży widokowej*

Table 1. Description of the variants of the observation tower structure

*Tabela 1. Opis wariantów konstrukcji wieży widokowej*

| Variant/<br>Wariant | Description of the structural solution of the observation tower/Opis rozwiązania konstrukcyjnego wieży widokowej                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | the observation platform and restaurant slabs are supported by 4 columns (cross-section 120 x 240 cm), spaced in a circle with a radius of 7 m/<br>płyty platform widokowych i restauracji oparte są na 4 słupach (przekrój 120 x 240 cm), rozstawionych na okręgu o promieniu 7 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2                   | the observation platform and restaurant slabs are supported by 12 columns (cross-section 60 x 120 cm) spaced every 30°; the columns at the base are located 6.50 m from the axis of the shaft and are inclined towards it at an angle of 86°; at a height of 23.15 m, the supports connect to the reinforced concrete ring and then lean at an angle of 17° from the vertical axis; the slabs of platform no. 2 and the restaurant are supported by the columns/oparcie płyt platform widokowych i restauracji stanowi 12 słupów (przekrój 60 x 120 cm) rozstawionych co 30°; słupy u podstawy znajdują się 6,50 m od osi trzonu i nachylone są w jego kierunku pod kątem 86°; na wysokości 23,15 m podpory łączą się z żelbetowym pierścieniem, a następnie odchylone są pod kątem 17° od pionu; na słupach oparte są płyty platformy 2 i restauracji |
| 3                   | the observation platform slabs are supported by 24 columns (cross-section 45 x 45 cm) spaced at the base of the tower every 15° at a distance of 7 m from the shaft; the supports form a spatial grid in the shape of a hyperboloid/płyty platform widokowych oparte są na 24 słupach (przekrój 45 x 45 cm) rozstawionych u podstawy wieży co 15° w odległości 7 m od trzonu; podpory tworzą kratownicę przestrzenną w kształcie hiperboloidy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4                   | the slabs of platform no. 1 (at a height of 28.16 m) and the restaurant slab (at a height of 43.52 m) are supported around the perimeter on a 25 cm thick reinforced concrete shell; platform no. 2 (at a height of 48.64 m) was supported on 60 columns (cross-section 30 x 30 cm) spaced every 6°/płyty platformy 1 (na wysokości 28,16 m) i restauracji (na wysokości 43,52 m) podparte są po obwodzie na powłoce żelbetowej o grubości 25 cm; platforma nr 2 (na wysokości 48,64 m) została podparta na 60 słupach (przekrój 30 x 30 cm) w rozstawie co 6°                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### Static analysis of four tower variants

Computational models of four variants of the observation tower structure (Figure 2) were developed in Robot Structural Analysis Professional, using the Coons method (simple meshing) for generating finite elements. It was assumed that the shaft shell and the columns are fixed at the base and connect rigidly with the ring plates. The reinforced concrete structure of the tower was made of C35/45 concrete with a modulus of elasticity  $E_{cm} = 34 \text{ GPa}$  [8].

Four variants of the tower structure were analysed in terms of static work, assuming identical loads. The characteristic payload was increased in relation to those given in the standard [9] for category C1 (restaurants) and  $4.0 \text{ kN/m}^2$  was assumed due to the possibility of a larger number of users. Snow load zone IV [10] and wind load zone I [11] were assumed. The wind load of complex spatial computational models of the tower structure was determined in the ROBOT numerical program, assuming a basic wind speed of  $22.0 \text{ m/s}$ .

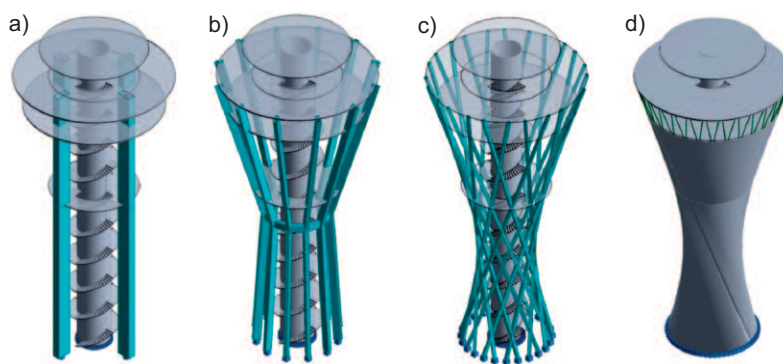
The results of static calculations performed in the numerical program for the ULS case, meridional forces in the shaft shell (Figure 3) and internal forces in the reinforced concrete structure of the tower and their analytical verification are described in [12].

### Analiza statyczna czterech wariantów wieży

Modele obliczeniowe czterech wariantów konstrukcji wieży widokowej (rysunek 2) opracowano w programie Robot Structural Analysis Professional, stosując metodę Coonsa (siatkovanie proste) do generacji elementów skończonych. Założono, że powłoka trzonu i słupy są utwierdzone przy podstawie i łączą się z płytami pierścieniowymi w sposób sztywny. Żelbetową konstrukcję wieży zaprojektowano z betonu klasy C35/45 o module sprężystości  $E_{cm} = 34 \text{ GPa}$  [8].

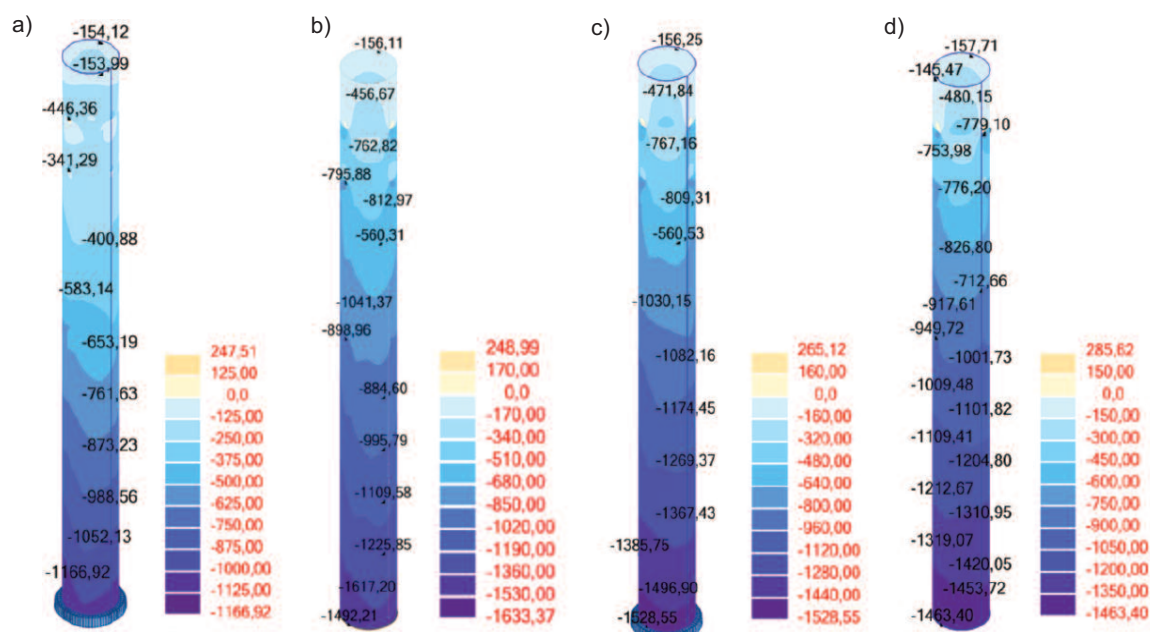
Cztery warianty konstrukcji wieży przeanalizowano pod względem pracy statycznej, przyjmując jednakowe obciążenia. Charakterystyczne obciążenie użytkowe zwiększono w stosunku do podanego w normie [9] dla kategorii C1 (restauracji) i przyjęto  $4,0 \text{ kN/m}^2$  ze względu na możliwość większej liczby użytkowników. Założono IV strefę obciążenia śniegiem [10] i I strefę obciążenia wiatrem [11]. Obciążenie wiatrem przestrzennych modeli obliczeniowych konstrukcji wieży wyznaczono w programie numerycznym ROBOT, przyjmując bazową prędkość wiatru  $22,0 \text{ m/s}$ .

Wyniki obliczeń statycznych wykonanych w programie numerycznym w przypadku SGN, siły południkowe w powłoce trzonu (rysunek 3) oraz siły wewnętrzne w żelbetowej konstrukcji wieży i ich weryfikację analityczną opisano w [12].



**Fig. 2. Numerical models of four variants of the reinforced concrete structure of the observation tower: a) variant 1; b) variant 2; c) variant 3; d) variant 4**

*Rys. 2. Modele numeryczne czterech wariantów żelbetowej konstrukcji wieży widokowej: a) wariant 1; b) wariant 2; c) wariant 3; d) wariant 4*

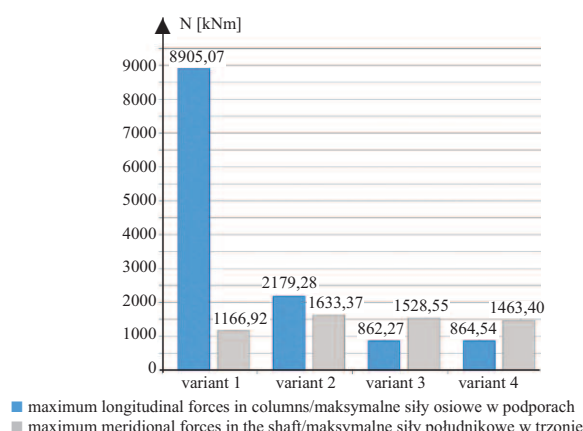


**Fig. 3. Meridional forces in the shaft shell [kN]: a) variant 1; b) variant 2; c) variant 3; d) variant 4**

*Rys. 3. Siły południkowe w powłoce trzonu [kN]: a) wariant 1; b) wariant 2; c) wariant 3; d) wariant 4*

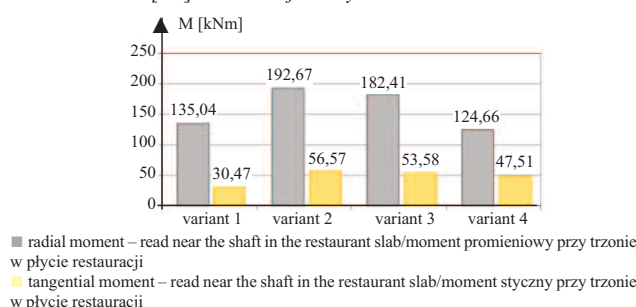
### Comparison of design variants

In Figures 4 ÷ 7 of the obtained results of the calculations for all variants towers is presented and in Table 2 summarizes the internal forces in the reinforced concrete structural elements of the observation tower obtained from the static analysis from the load combinations in the ultimate limit state.



**Fig. 4. Maximum longitudinal forces [kN] in columns and meridional forces in the shaft [kN] of the tower structure**

*Rys. 4. Maksymalne siły podłużne [kN] w słupach oraz siły południkowe w trzonie [kN] konstrukcji wieży*



**Fig. 6. Radial and tangential moments [kNm] in the restaurant slab**

*Rys. 6. Momenty promieniowe i styczne [kNm] w płycie restauracji*

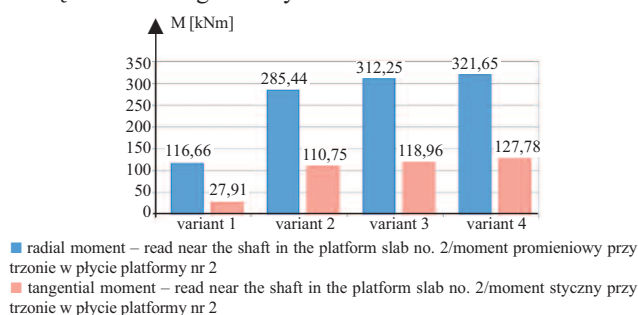
**Table 2. The results of static calculation of the tower structure**

*Tabela 2. Wyniki obliczeń statycznych konstrukcji wieży*

| Characteristic/Charakterystyka                                                         |                                                                        | Variant 1/<br>Wariant 1 | Variant 2/<br>Wariant 2 | Variant 3/<br>Wariant 3 | Variant 4/<br>Wariant 4 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Support type/Rodzaj podparcia                                                          |                                                                        | columns/słupy           | columns/słupy           | columns/słupy           | shell/powłoka           |
| Support dimension [cm]/Wymiar podpory [cm]                                             |                                                                        | 120 x 240               | 60 x 120                | 45 x 45                 | 25                      |
| Number of supports/Liczba podpór                                                       |                                                                        | 4                       | 12                      | 24                      | –                       |
| Maximum longitudinal forces in supports [kN]/Maksymalne siły podłużne w podporach [kN] |                                                                        | 8905,07                 | 2179,28                 | 862,27                  | 864,54                  |
| Maximum meridional forces in the shaft [kN]/Maksymalne siły południkowe w trzonie [kN] |                                                                        | 1166,92                 | 1633,37                 | 1528,55                 | 1463,40                 |
| Platform no. 2 slab/Płyta platformy 2                                                  | radial moment at the shaft [kNm]/moment promieniowy przy trzonie [kNm] | 116,66                  | 285,44                  | 312,25                  | 321,65                  |
|                                                                                        | tangential moment at the shaft [kNm]/moment styczny przy trzonie [kNm] | 27,91                   | 110,75                  | 118,96                  | 127,78                  |
| Restaurant slab/Płyta restauracji                                                      | radial moment at the shaft [kNm]/moment promieniowy przy trzonie [kNm] | 135,04                  | 192,67                  | 182,41                  | 124,66                  |
|                                                                                        | tangential moment at the shaft [kNm]/moment styczny przy trzonie [kNm] | 30,47                   | 56,57                   | 53,58                   | 47,51                   |
| Platform no. 1 slab/Płyta platformy 1                                                  | radial moment at the shaft [kNm]/moment promieniowy przy trzonie [kNm] | 93,63                   | 23,05                   | 36,98                   | 16,00                   |
|                                                                                        | tangential moment at the shaft [kNm]/moment styczny przy trzonie [kNm] | 22,02                   | 5,77                    | 9,15                    | 5,49                    |

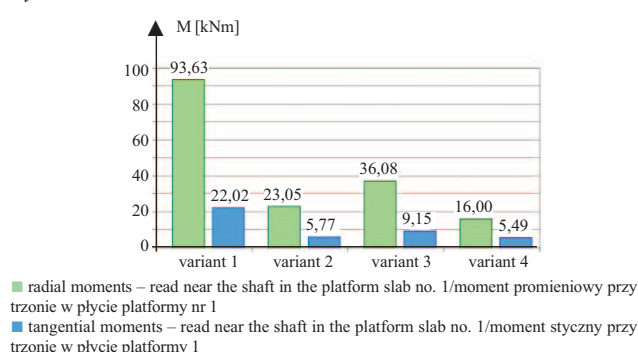
### Porównanie wariantów konstrukcyjnych

Na rysunkach 4 ÷ 7 przedstawiono wyniki obliczeń wszystkich wariantów wież, a w tabeli 2 zestawiono siły wewnętrzne w żelbetowych elementach konstrukcyjnych wieży widokowej uzyskane z analizy uwzględniającej kombinację obciążeń w stanie granicznym nośności.



**Fig. 5. Radial and tangential moments [kNm] in the platform slab no. 2**

*Rys. 5. Momenty promieniowe i styczne [kNm] w płycie platformy 2*



**Fig. 7. Radial and tangential moments [kNm] in the platform slab no. 1**

*Rys. 7. Momenty promieniowe i styczne [kNm] w płycie platformy 1*

Table 3 presents the characteristics of the supports for each design variant of the observation tower, and Figure 8 shows the consumption of the concrete mixture. The dimensions were assumed in accordance with the lengths of the elements in the calculation model in the numerical program. Since the observation platform slabs and the structure core were assumed to be the same in all variants of the observation tower, their volume was omitted.

**Table 3. Geometric characteristics of supports and concrete consumption**

*Tabela 3. Charakterystyka geometryczna podpór i zużycie betonu*

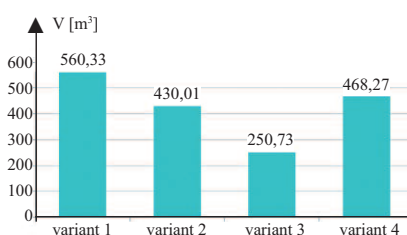
| Support parameters/Parametry podpory                                | Variant 1/Wariant 1 | Variant 2/Wariant 2 | Variant 3/Wariant 3 | Variant 4/Wariant 4 |               |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
|                                                                     |                     |                     |                     | shell/powłoka       | columns/słupy |
| Cross-section width [m]/Szerokość przekroju [m]                     | 1,20                | 0,60                | 0,45                | 0,25                | 0,30          |
| Cross-section height [m]/Wysokość przekroju [m]                     | 2,40                | 1,20                | 0,45                | –                   | 0,30          |
| Surface area [m <sup>2</sup> ]/Pole powierzchni [m <sup>2</sup> ]   | 2,88                | 0,72                | 0,203               | –                   | 0,09          |
| Element height [m]/Wysokość elementu [m]                            | 48,64               | 49,77               | 51,59               | 43,52               | 5,43          |
| Volume 1 pc. [m <sup>3</sup> ]/Objętość 1 szt. [m <sup>3</sup> ]    | 140,08              | 35,83               | 10,45               | 438,95              | 0,49          |
| Quantity/Liczba sztuk                                               | 4                   | 12                  | 24                  | 1                   | 60            |
| Concrete volume [m <sup>3</sup> ]/Objętość betonu [m <sup>3</sup> ] | 560,33              | 430,01              | 250,73              | 468,27              |               |

Variant 1 is characterized by the smallest meridional forces in the shaft shell, which is caused by the location of the supports (columns) close to the tower shaft. As a result, most of the loads are transferred to the four columns. It has the smallest values of radial and tangential moments in the slabs of the platform no. 2 and the restaurant, the opposite is the case in the slab of platform no. 1. On the other hand, the differences in moments between variants 2, 3 and 4 for the observation slabs and the restaurant slab in the tower structure are relatively small. Variant 1 is also characterized by the highest concrete consumption.

Increasing the number of columns threefold in variant 2 results in a predictable significant decrease in longitudinal forces per single support. Twelve supports in variant 2 of the tower resulted in a decrease in the value of longitudinal forces in columns more than four times compared to variant 1. The decrease in forces is not inversely proportional to the number of columns due to their location on the perimeter of the observation platforms and restaurants in variant 2.

The proportionality of the reduction in longitudinal forces in the tower supports is visible in variant 3. Increasing the number of columns again, this time doubling them, resulted in a decrease in longitudinal forces in the supports by more than twice as much as in variant 2. The smaller cross-section of columns in variant 3, despite their greater number, reduced the concrete consumption by almost a half.

W tabeli 3 zamieszczono charakterystykę podpór każdego wariantu konstrukcyjnego wieży widokowej, a na rysunku 8 zużycie mieszanki betonowej. Wymiary przyjęto zgodnie z modelem obliczeniowym w programie numerycznym. W związku z tym, że założono jednakowe płyty platform widokowych i trzon konstrukcji we wszystkich wariantach wieży widokowej, pominięto ich objętość.



**Fig. 8. Concrete volume  $V$  [m<sup>3</sup>] in supports (columns/shell) in four variants of the tower structure**

*Rys. 8. Objętość betonu  $V$  [m<sup>3</sup>] w podporach (słupach/powłoce) w czterech wariantach konstrukcji wieży*

Wariant 1 charakteryzuje się najmniejszymi siłami południkowymi w powłoce trzonu, co jest spowodowane lokalizacją podpór (słupów) blisko trzonu wieży. Efektem tego jest przeniesienie dużej części obciążeń na cztery słupy. Najmniejsze są wartości momentów promieniowych i stycznych w płytach platformy 2 oraz restauracji. Odwrotnie jest w płycie platformy 1, natomiast niewielkie są różnice w momentach między wariantami 2, 3 i 4 w przypadku płyt widokowych i płyty restauracji w konstrukcji

wieży. Wariant 1 charakteryzuje się również największym zużyciem betonu.

Trzykrotne zwiększenie liczby słupów w wariantie 2 skutkuje przewidywalnym znacznym spadkiem sił podłużnych przypadających na pojedynczą podporę. Dwanaście podpór w wariantie 2 wieży spowodowało ponadczterokrotne zmniejszenie wartości sił podłużnych w słupach w porównaniu z wariantem 1. Spadek sił w wariantie 2 nie jest odwrotnie proporcjonalny do liczby słupów z powodu ich lokalizacji po obwodzie płyt platform widokowych i restauracji.

Proporcjonalność zmniejszenia sił podłużnych w podporach wieży widoczna jest natomiast w wariantie 3. Ponowne zwiększenie liczby słupów, tym razem ich podwojenie, spowodowało ponaddwukrotny spadek sił podłużnych w podporach w stosunku do wariantu 2. Mniejszy przekrój słupów w wariantie 3, mimo ich większej liczby, wpłynął na zmniejszenie zużycia betonu blisko o połowę.

## Conclusions

The comparative analysis of internal forces shows that variants 3 and 4 are the most advantageous structural solutions in terms of the statics of the observation tower. Despite the diametrically different architectural concepts of the tower, in both variants the values of internal forces in the structural elements of the tower are similar to each other and also smaller or comparable in relation to the other models.

Undoubtedly, the lightness of the structure, visually attractive form and good results of static work make variant 3 the best form of the observation tower within the given assumptions, even despite the complex technology needed for construction. The spatial truss in the shape of a single-shell hyperboloid means that the longitudinal forces in the supports are only compressive forces, which allows the design of relatively small column cross-sections and lower concrete consumption. However, often a simple structure, and thus simple execution and lower implementation costs, win in terms of aesthetic values or static work of the facility.

*Received: 24.02.2025*

*Revised: 15.04.2025*

*Published: 23.07.2025*

## Wnioski

Z analizy porównawczej sił wewnętrznych wynika, że korzystnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi pod względem statyki wieży widokowej są warianty 3 i 4. Pomimo diametralnie różnej koncepcji architektonicznej wieży, w obu wariantach wartości sił wewnętrznych w elementach konstrukcyjnych są do siebie zbliżone, a także mniejsze lub porównywalne z pozostałymi modelami.

Niewątpliwie lekkość konstrukcji, atrakcyjna forma pod względem wizualnym i dobre wyniki pracy statycznej sprawiają, że to wariant 3 jest najlepszym rozwiązaniem wieży widokowej przy danych założeniach, mimo złożonej technologii wykonania. Przestrzenna kratownica w kształcie hiperboloidy jednowłokowej sprawia, że powstałe siły podłużne w podporach są jedynie siłami ściskającymi, co pozwala na zaprojektowanie relatywnie niewielkich przekrojów słupów i mniejsze zużycie betonu.

*Artykuł wpłynął do redakcji: 24.02.2025 r.*

*Otrzymano poprawiony po recenzjach: 15.04.2025 r.*

*Opublikowano: 23.07.2025 r.*

## Literature

- [1] Wieża Eiffla [https://pl.wikipedia.org/wiki/Wie%C5%BCa\\_Eiffla](https://pl.wikipedia.org/wiki/Wie%C5%BCa_Eiffla).
- [2] Pomnik Waszyngtona. HYPERLINK [https://pl.wikipedia.org/wiki/Pomnik\\_Waszyngtona](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pomnik_Waszyngtona).
- [3] CN Tower w Kanadzie [https://pl.wikipedia.org/wiki/CN\\_Tower](https://pl.wikipedia.org/wiki/CN_Tower).
- [4] Wieża widokowa Skytree w Tokyo [https://en.wikipedia.org/wiki/Tokyo\\_Skytree](https://en.wikipedia.org/wiki/Tokyo_Skytree).
- [5] Wieża widokowa w Elku <https://www.elk.pl/aktualnosci-wpis/4799/wieza-widokowa-w-elku>.
- [6] Wieża widokowa w Krynicy-Zdroju <https://wiewidokowa/>.
- [7] Wieża widokowa Nanchang Waves <https://nordicarch.com/project/nanchang-waves>.

[8] PN-EN 1992-1-1:2008 – Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[9] PN-EN 1991-1-1:2004 – Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.

[10] PN-EN 1991-1-3:2005 – Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.

[11] PN-EN 1991-1-4:2008 – Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływanie wiatru.

[12] Hyzopska M. Wariantowy projekt konstrukcji wieży widokowej. Praca magisterska. Promotor J. A. Prusiel, Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku. Białystok, 2021.