

Projekt Terminala Regionalnego Portu Lotniczego

Mgr inż. Kamil Chodkowski, dr inż. Barbara Sadowska-Buraczewska – promotor,
Politechnika Białostocka

1. Wprowadzenie

Wymiary terminala lotniczego dobiera się głównie w zależności od przewidywanej liczby pasażerów w jednostce czasu. W czasie dobowej pracy lotniska możemy wyszczególnić okresy, gdy występuje średnie natężenie ruchu oraz godziny szczytowe, gdy liczba pasażerów jest znacznie większa. W projektowaniu terminala ze względów ekonomicznych dobiera się wariant średniego natężenia. Przy projektowaniu budynku przyjęto, iż lotnisko w czasie jednej godziny typowej pracy będzie w stanie obsłużyć dwa samoloty klasy Airbus A319/320 oraz Boeing 737 występujące wśród najbardziej popularnych przewoźników lotniczych operujących na polskim niebie – LOT, Ryanair, Wizzair, Airbaltic oraz Lufthansa. Celem omawianej pracy jest zaprojektowanie konstrukcji terminala regionalnego portu lotniczego. Budynek będzie wykonany z wykorzystaniem elementów zespolonych, drewnianych, stalowych oraz żelbetowych.

2. Konstrukcja ustroju nośnego budynku

W związku z tym, iż dążymy do tego, aby budynek był oświetlony w jak największym stopniu światłem naturalnym (co redukuje koszty energii elektrycznej i wpływa pozytywnie na samopoczucie pasażerów) zrezygnowano z konstrukcji tarczowej (ściennej) na rzecz konstrukcji prętowej (ramowej). Wybrana konstrukcja stalowa (słupów i podciągów) charakteryzuje się wieloma zaletami: znaczne uprzemysłowienie konstrukcji, profile stalowe są docinane oraz wiercone w zakładach obróbki stali z dużą dokładnością, eliminując niedokładność wykonania na placu budowy, lekka waga konstrukcji nie wymaga użycia cięższego sprzętu oraz sprawia

poczucie „lekości budynku”, szybki czas budowy – przywożone gotowe elementy (słupy, belki) wymagają jedynie skręcenia ze sobą i nie występuje konieczność czekania, aż konstrukcja osiągnie pełną wytrzymałość (okres wiązania betonu jak w przypadku żelbetu), stosunkowo małe przekroje profili nie ograniczają przestrzeni użytkowej budynku, gwarancja jakości – stal jako materiał homogeniczny nie jest podatny na niewłaściwe wykonanie na budowie (zbędna jest pielęgnacja oraz zagęszczanie jak w przypadku żelbetu), przyjazna środowisku – po zrezygnowaniu z użytkowania budynku i jego rozbiórce można odzyskać prawie cały materiał jako złom stalowy, a następnie po przetopieniu w hucie ponownie go wykorzystać.

Równie ważnym czynnikiem wyboru stali było zapewnienie możliwości współpracy belek stropowych ze stropem poprzez wykorzystanie łączników sworzniowych. Zastosowanie konstrukcji zespolonej dało znaczną efektywność w wymiarowaniu. Stalowe belki przenoszą siły rozciągające, a betonowa płyta siły ściskające. Wykorzystane zostały zatem najlepsze przeciwstawne cechy dwóch materiałów w przenoszeniu danych sił.

3. Założenia materiałowo-konstrukcyjne

3.1. Lokalizacja projektowanego budynku

Budynek powstanie w Białymstoku przy ulicy Ciołkowskiego na Krywlanach. Wysokość terenu 150 m n.p.m..

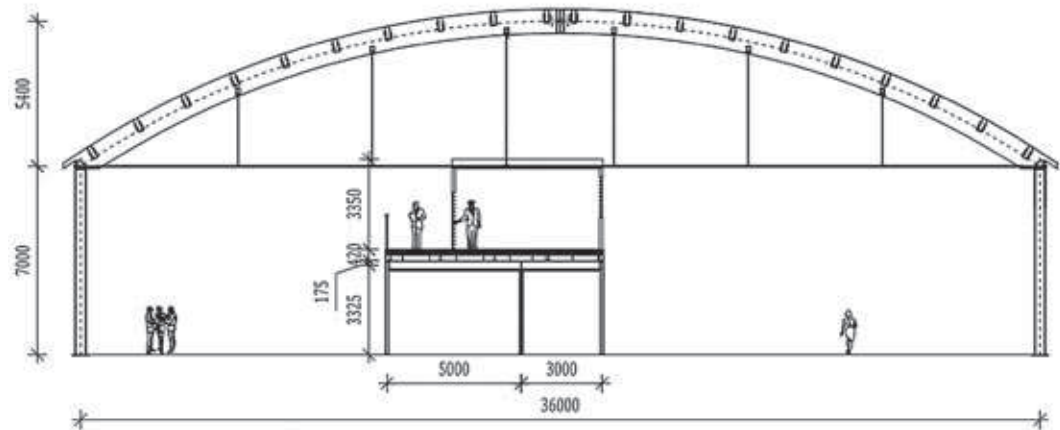
3.2. Charakterystyka budynku

Budynek został zaprojektowany jako piętrowy, przekryty dachem łukowym. W rzucie ma kształt prostokąta. Wymiary osiowe: wysokość – 12,40 m, długość – 114,00 m,

Rys. 1. Lokalizacja projektowanego budynku (źródło: maps.google.pl)



Rys. 2. Konstrukcja projektowanego budynku



szerokość – 36,00 m. W budynku na poszczególnych kondygnacjach zlokalizowano następujące pomieszczenia:

- parter: punkty: sprzedaży biletów, wypożyczalni samochodów, informacji o lotnisku, informacji o lotach, toalety, sklepy, bar, restauracja, odprawa biletowo-bagażowa, kontrola bezpieczeństwa, hale odlotów (gate), pomieszczenie ochrony lotniska (SOL), Urząd Celny, Straż Graniczna, stacja sanitarno-epidemiologiczna, magazyn, sortownia bagaży oraz listów;
- pierwsze piętro: sekretariat, gabinet dyrekcji portu, pomieszczenia administracji, sala konferencyjna, toalety, pomieszczenie ochrony, pomieszczenie socjalne, pomieszczenie dla obsługi pokładowej samolotów, taras widokowy, salon VIP dla pasażerów.

Układ konstrukcyjny budynku szkieletowy. Dach łukowy o wyniosłości 5,40 m z drewna klejonego warstwowo (GL), stropy zespolone na blachach profilowanych. Wszystkie stropy opierają się na belkach stropowych zespolonych o rozstawie 2,0 m. Słupy oraz podciąg wykonane ze stali. Elewacje stanowi fasada szklana systemowa.

4. Obliczenia statyczne i wymiarowanie

4.1. Obciążenie śniegiem wg [7]

Charakterystyczne obciążenie śniegiem (trwała i przejściowa sytuacja obliczeniowa):

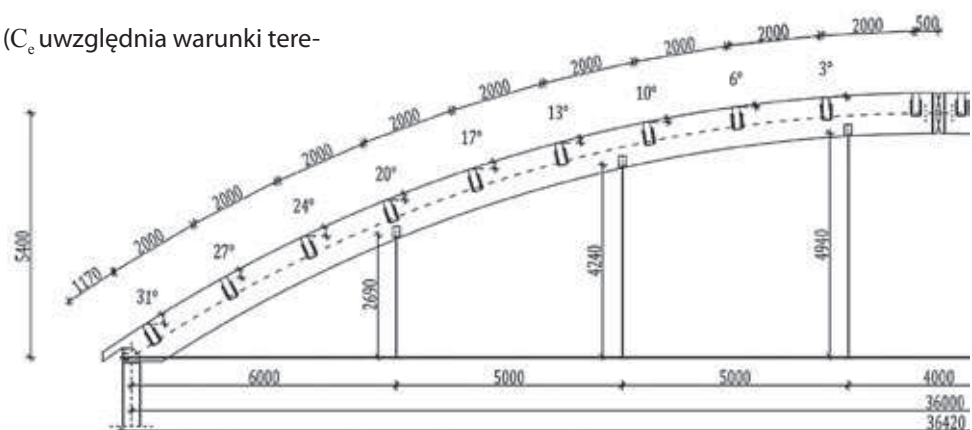
$$S_k = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_K \quad (1)$$

gdzie:

C_e – współczynnik ekspozycji (C_e uwzględnia warunki terenowe wg tab. 5.1 [7]),

$C_e = 1$ – teren normalny,

Rys. 3. Kąty nachylenia płatwi oraz ich rozstawy



C_t – współczynnik termiczny (wg pkt. 5.2. (8) [7]),

$C_t = 1$ – dla większości dachów,

S_K – bazowa wartość obciążenia śniegiem dla stref w poziomie terenu (wg rys. NA.1, tab. NA.1 [7]),

$S_K = 1,600 \text{ kN/m}^2$ – dla strefy 4,

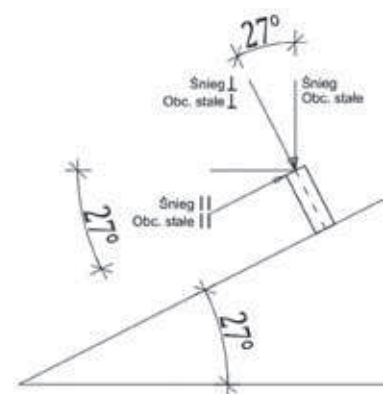
μ_i – współczynnik kształtu dachu (wg rys. 5.5 i rys. 5.6 [7]).

Płatwie zaprojektowano jako belki wolnopodparte o rozstawie 2,0 m obciążone w sposób ciągły, zginane dwukierunkowo.

Do wymiarowania przyjęto drugą płatwę (liczoną od początku łuku) z powodu największego kąta do stycznej (27°), jaki występuje ze wszystkich płatwi o rozstawie 2,00 m.

4.2. Zebranie obciążeń na 1 mb płatwi i wyznaczenie sił wewnętrznych

W związku z tym, iż belka zginana jest dwukierunkowo, działające obciążenie rozłożono na składowe pionowe i poziome.



Rys. 4. Schemat rozkładu obciążeń na składowe pionowe i poziome

W pracy określono parametry przekroju oraz wyznaczono nośność płatwi na zginanie (wg 6.1.6 [14]). Przekrój zginany powinien spełniać poniższe warunki:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,t,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3)$$

gdzie:

k_m – współczynnik redystrybucji naprężeń zginających w przekroju,

$k_m = 0,7$ dla przekrojów prostokątnych z drewna klejonego warstwowo wg pkt. 6.1.6 [14].

Stateczność płatwi przy zginaniu określono wg 6.3.3 [14], gdzie belka w rozpatrywanym przypadku jest obciążona wyłącznie momentem zginającym, zatem przekrój powinien spełniać poniższy warunek:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (4)$$

gdzie:

k_{crit} – współczynnik uwzględniający redukcję wytrzymałości ze względu na zwichrowanie elementu.

Naprężenie krytyczne przy zginaniu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{I_{ef} \cdot W_y} \quad (5)$$

gdzie:

I_{tor} – moment bezwładności przy skręcaniu.

Dla belki prostokątnej wzór na I_{tor} jest następujący:

$$I_{tor} = \beta \cdot h \cdot b^3 \quad (6)$$

Nośność płatwi na ścinanie (wg 6.1.7 [14])

Przekrój ścinany powinien spełniać poniższy warunek:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (7)$$

Zgodnie z [14] sprawdzając nośność na ścinanie elementów zginanych, należy uwzględniać wpływ pęknięć przez wprowadzenie efektywnej szerokości elementu b_{ef} :

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad (8)$$

gdzie:

$k_{cr} = 0,67$ dla drewna klejonego warstwowo.

Stan granicznej użyteczności – ugięcie płatwi (wg NA. 8.3 [14])

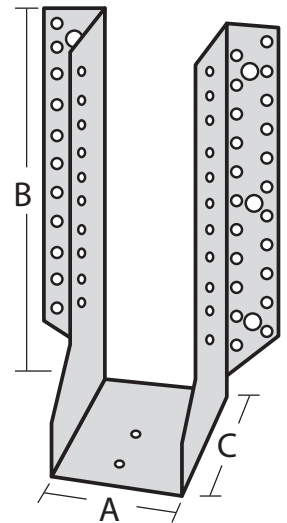
Ugięcie belek zostało określone zgodnie z obowiązującymi wzorami wg [14]. Sprawdzone sumaryczne ugięcie dla kierunku Y i kierunku Z:

$$u_Y = u_{fin,G} + u_{fin,S} \quad (9)$$

4.3. Wymiarowanie połączenia płatew-łuk

Jako złącze przyjęto łącznik GSE 840/160/4 produkt firmy SIMPSON Strong-Tie. Zgodnie z katalogiem [15] aby zabezpieczyć belkę (płatew) przed obrotem na podporze, wysokość wieszaka belki powinna wynosić co najmniej 2/3 wysokości belki drugorzędnej (płatwi). Zastosowano łącznik GSE 840/160/4.

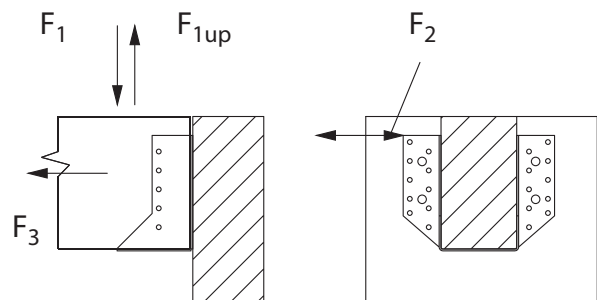
Wymiary: A = 160 mm, B = 340 mm, C = 110 mm.



Rys. 5. Wymiary oraz kształt łącznika [15]

Nośności charakterystyczne w połączeniu drewno-drewno (gwoździowanie pełne):

$$R_{1,k} = 72 \text{ kN}, R_{1,k,up} = 60 \text{ kN}, R_{2,k} = 29,5 \text{ kN}.$$



Rys. 6. Definicje kierunków obciążeń [15]

Wyznaczono nośność obliczeniową połączenia wg wzoru:

$$R_{i,d} = \frac{R_{i,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (10)$$

gdzie:

$k_{mod} = 0,80$ – dla obciążeń średnioterwałych,

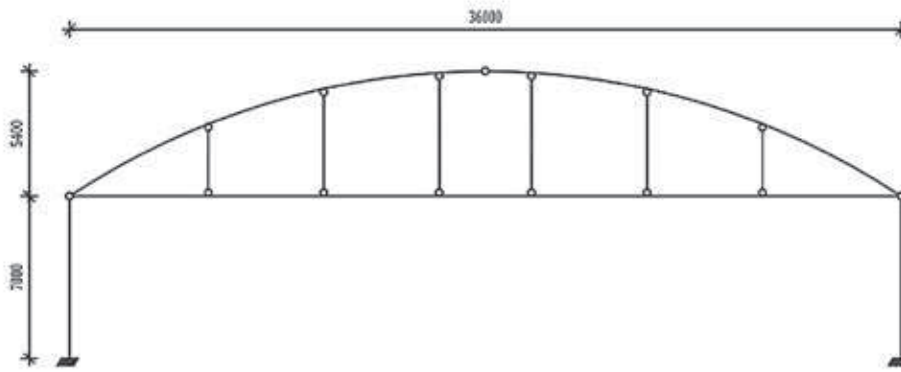
$\gamma_M = 1,30$ – wg producenta

oraz sprawdzono warunek nośności:

$$\left[\frac{F_{1,d}}{R_{1,d}} \right]^2 + \left[\frac{F_{2,d}}{R_{2,d}} \right]^2 < 1 \quad (11)$$

4.4. Wymiarowanie dźwigara łukowego z drewna klejonego

Do projektowania przyjęto następujące wymiary: wyniosłość łuku $f = 5,40$ m, wysokość przekroju $h = 0,90$ m, szerokość przekroju $b = 0,22$ m. Rozstaw łuków trójprzegubowych wynosi 6,0 m.



Rys. 7. Schemat statyczny łuku trójprzebiegowego

Zebrano obciążenia stałe i zmienne na 1 mb łuku. Sprawdzone nośność łuku na ściskanie wzdłuż włókien (wg 6.1.4 [14]):

$$\sigma_{c,0,d} < f_{c,0,d} \quad (12)$$

oraz nośność łuku na zginanie (wg 6.1.6 [14]) wg wzorów:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (13)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (14)$$

Nośność łuku na skręcanie wg 6.1.8 [14]

Zjawisko skręcania występuje w wyniku działania sił reakcji pławki. W przypadku łuków pośrednich obustronne działanie reakcji od pławki niweluje zjawisko skręcania. Sprawdzenie nośności wymagane jest zatem dla łuku skrajnego. Warunek nośności wynosi:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d} \quad (15)$$

Nośność łuku na zginanie ze ściskaniem osiowym (z wyboczeniem) (wg 6.3.2 [14])

Przekrój powinien spełniać poniższe warunki:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} \cdot k_{cy}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (16)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} \cdot k_{cz}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (17)$$

Dla siły normalnej w ściągu oraz kombinacji wg [5] sprawdzono warunek nośności dla użytego ściągu wg wzoru:

$$\sigma_c < f_u \quad (18)$$

gdzie:

σ_c – naprężenie rozciągające w ściągu,

f_u – wytrzymałość na rozciąganie zastosowanej stali.

Głównym elementem projektowanej konstrukcji terminala był strop zespolony z użyciem blachy profilowanej 60.

W dalszej kolejności przeprowadzono niezbędne obliczenia stropu, przyjmując belkę kształtownika IPE 220 [2] wg rysunku 9.

Kształtownik wykonany ze stali klasy S355, $f_y = f_{yd} = 355$ MPa. Zastosowano łączniki sworzniowe o wymiarach $d=19$ mm ze stali $f_u = 450$ MPa w celu połączenia elementów oraz wymiarowano łączniki na ścinanie zgodnie z [13].

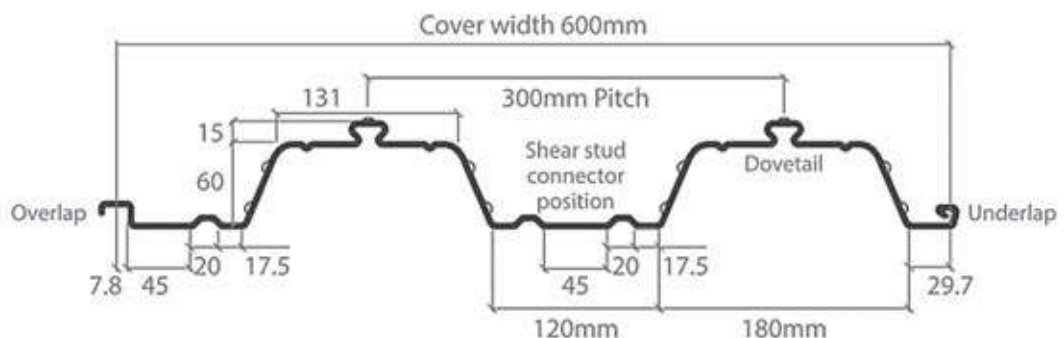
Wymiarowanie rygla stalowego przeprowadzono dla najbardziej wyężonej ramy – ramy dwunawowej N-N. Przyjęto profil IPE 330 ze stal S355 i schemacie zgodnie z rysunkiem 10.

Przykładowo wymiarowanie słupa stalowego (skrajnego) utwierdzonego sztywno w fundamencie przeprowadzono dla słupa lewego ramy dwunawowej, obciążonego większą siłą. Przyjęto profil HEB120, stal S235.

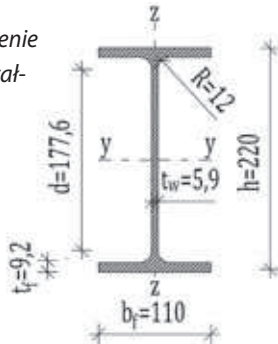
W pracy wymiarowano węzeł okapowy ramy dwunawowej projektowanego obiektu zgodnie z rysunkiem 12.

Ponadto zastosowano i zaprojektowano żebro podporowe obustronne w celu przeniesienia reakcji podporowej przez rygiel oraz aby ustabilizować rozciągany pas górny podciągu przy zginaniu. Charakterystykę żebra przedstawiono na rysunku 13.

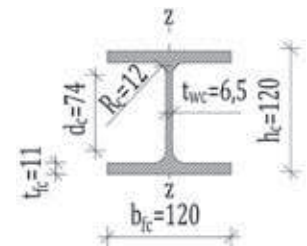
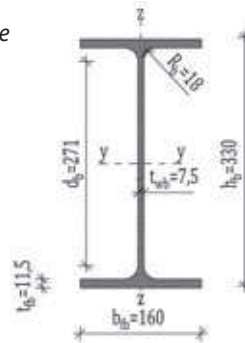
Rys. 8. Wymiary arkusza blachy Comflor 60 [16]



Rys. 9. Oznaczenie wymiarów kształtownika

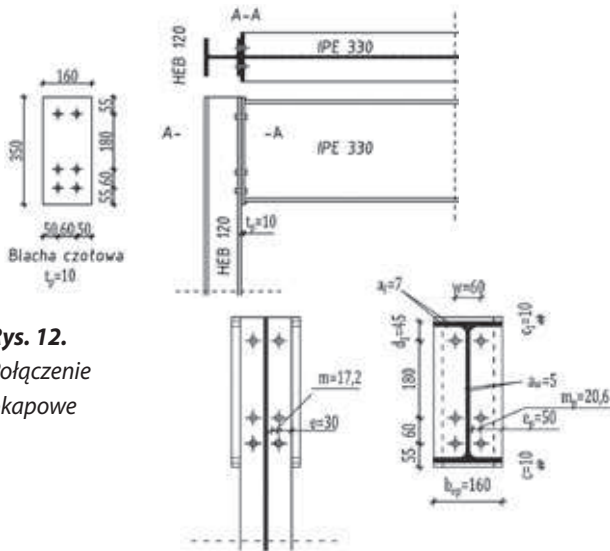


Rys. 10. Oznaczenie wymiarów kształtownika

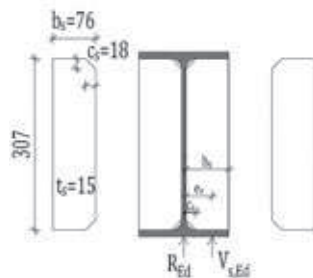


Rys. 11. Oznaczenie wymiarów kształtownika

Rys. 12. Połączenie okapowe



Rys. 13. Widok zębra podporowego



5. Podsumowanie

W pracy dyplomowej zaprojektowano terminal regionalnego portu lotniczego. Projektowany obiekt spełnia zalecenia podawane w literaturze branżowej oraz wymagania higieniczno-sanitarne dla pomieszczeń socjalnych oraz toalet. W rozdziale pierwszym pracy zawarto przegląd rozwiązań architektonicznych stosowanych w terminalach oraz rozwiązań konstrukcyjnych możliwych do zastosowania w budynku tego typu. W rozdziale drugim przedstawiono założenia materiałowo-konstrukcyjne projektowanego obiektu, będące skróconym opisem technicznym. W rozdziale trzecim zawarto zebranie obciążeń środowiskowych działających na projektowaną konstrukcję zlokalizowaną w mieście Białystok, a także przeprowadzono wymiarowanie poszczególnych elementów z wymaganiami norm [5–14] oraz na podstawie publikacji [1–4]: dobranie blachy przykrycia, zwymiarowanie płatwi drewnianych z drewna klejonego, zwymiarowanie łącznika systemowego łączącego płatew z konstrukcją dachu, zwymiarowanie łuku trójprzegubowego z drewna klejonego, zwymiarowanie

stropów zespolonych na blachach profilowanych Comflor 60, zwymiarowanie belki stropowej zespolonej, zwymiarowanie rygla, zwymiarowanie słupa dwustronnie utwierdzonego, wymiarowanie słupa obustronnie przegubowego na ściskanie oraz ściskanie z wyboczeniem, zwymiarowanie połączenia w narożu ramy jednokondygnacyjnej, zwymiarowanie połączenia sztywnego słup-stopa, zwymiarowanie połączenia przegubowego słup-stopa, zwymiarowanie połączenia belka stropowa-podciąg, zwymiarowanie stopy fundamentowej żelbetowej. Rozdział czwarty zawiera wyniki analizy numerycznej. Wszystkie projektowane elementy spełniają warunki stanu granicznego nośności (SGN/ULS) oraz stanu granicznej użyteczności (SGU/SLS) wymagane przez obowiązujące normy europejskie [5–14].

Praca nagrodzona w 2016 roku w konkursie PZITB „Najlepsze prace dyplomowe absolwentów Szkół Wyższych Kierunku Budownictwo”

BIBLIOGRAFIA

- [1] Biegus A., Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje budowlane, wydanie I, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2014
- [2] Bogucki W. i in., Tablice do projektowania konstrukcji metalowych, wydanie VII, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2007
- [3] Kotwica E., Nożyński W., Konstrukcje drewniane – przykłady obliczeń, wydanie I, Wydawnictwo SPPDwP, Szczecin, 2015
- [4] Rawska-Skotniczy A., Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów, wydanie II, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 2014
- [5] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji
- [6] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenie użytkowe w budynkach
- [7] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenia śniegiem
- [8] PN-EN 1991-1-4:2005 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Obciążenie wiatrem
- [9] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [10] PN-EN 1993-1-3:2008 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno
- [11] PN-EN 1993-1-5:2008 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5: Blachownice
- [12] PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów
- [13] PN-EN 1994-1-1:2008 Eurokod 4. Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [14] PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków
- [15] Materiały firmy SIMPSON Strong-Tie
- [16] Materiały firmy TATA (producent stropów Comflor 60)