

Wariantowy projekt konstrukcji krytego stoku narciarskiego

Mgr inż. Anna Bernatowicz, dr inż. Mariusz Gnatowski – promotor,
Politechnika Białostocka

1. Wprowadzenie

Popularność sportów zimowych w Polsce wciąż rośnie. Potwierdzają to raporty CEBOS z 2003 i 2013 roku dokumentujące wzrost liczby respondentów deklarujących ich uprawianie z 2 do 11%, w tym jazdę na nartach z 11 do 30% na przestrzeni tych lat [S1, S2]. Ośrodki narciarskie zlokalizowane na górskich lodowcach umożliwiają całoroczne uprawianie sportów zimowych, co nie jest możliwe w polskich kompleksach. Alternatywą mogą okazać się kryte stoki narciarskie, których jak dotąd nie ma w naszym kraju. Na świecie zrealizowanych zostało już wiele takich obiektów i wszystkie cieszą się ogromnym zainteresowaniem wśród turystów przez cały rok. Celem pracy dyplomowej było wykonanie wariantowego projektu konstrukcji krytego stoku narciarskiego, przy rozpatrzeniu dwóch koncepcji architektoniczno-budowlanych tego typu obiektu sportowego. Jej zakres obejmował sformułowanie zadania projektowego w oparciu o wymagania infrastrukturalne i funkcjonalne, zebranie obciążeń, obliczenia statyczne metodami analitycznymi oraz za pomocą programu komputerowego, wymiarowanie elementów konstrukcyjnych obiektu w zakresie SGN i SGU zgodnie z zaleceniami EC2 oraz projektowanie konstrukcji węzłów i połączeń. Praca zakończona została porównaniem wariantów projektowych oraz wnioskami końcowymi.

2. Wymagania stawiane stokom narciarskim w Polsce i na świecie

Wytyczne dotyczące tras narciarskich na świecie precyzuje Międzynarodowa Federacja Narciarska FIS. Przyznawane przez tę organizację trasom homologacje oznaczają, że dany stok spełnia niezbędne wymagania do organizacji na nim imprez światowych takich jak Igrzyska Olimpijskie czy Mistrzostwa Świata [8]. Jednakże nie wszystkie trasy narciarskie, aby zostać dopuszczone do użytkowania, muszą posiadać homologację FIS. Ważne, aby były bezpieczne i atrakcyjne dla użytkowników. W przypadku krytego stoku narciarskiego konieczne jest także zapewnienie ujemnej temperatury średnio ok. -5°C w obiekcie dla zachowania odpowiednich właściwości pokrywy śnieżnej. Na etapie projektowania oprócz izolacji budynku należy również przewidzieć układ glikolowy zasilający instalację chłodzącą umieszczoną w podłodze budynku oraz na jego suficie [1]. Ogólne parametry tras narciarskich w Polsce warunkuje Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 29 grudnia 2011 roku w sprawie stopni trudności narciarskich tras zjazdowych, biegowych i nartostrad oraz sposobu ich oznaczania.

3. Przegląd literatury dotyczącej przekryć wielkopowierzchniowych

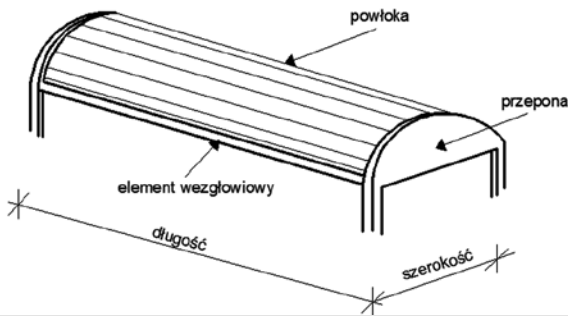
3.1. Charakterystyka, klasyfikacja oraz kształtowanie przekryć wielkopowierzchniowych

Istnieje wiele rodzajów nowoczesnych konstrukcji stosowanych w przekryciach o dużych rozpiętościach. Kluczową rolę w ich projektowaniu odgrywa zminimalizowanie liczby podpór pośrednich oraz ciężaru przekrycia. Wśród spełniających te wymagania konstrukcji możemy wyróżnić zadaszania: strukturalne – cechujące się nośnymi dźwigarami kratowymi, łukowe inaczej zwane łupinowymi, podwieszane i wiszące, w których poszycie podwiesza się do pylonów za pomocą ukośnych lin (wantów) oraz membranowo-ciężnowe (namiotowe) charakteryzujące się powierzchniową pracą cienkich powłok. Ponadto wykorzystuje się przekrycia ciężnowo-prętowe, w których obserwuje się równowagę wewnętrznych sił rozciągających i ściskających oraz przekrycia mieszane, kopuły i inne powłoki [4, 7, 12].

Szerokie zastosowanie w budownictwie jako przekrycia dachowe znalazły powłoki cylindryczne. Powłoki walcowe należą do powłok translacyjnych. Ich konstrukcja pozwala na wykonywanie zadaszów dużych rozpiętości bez podpór pośrednich. Priorytetem przy kształtowaniu powłoki walcowej jest zapewnienie jej największej sztywności i minimalizacja odkształceń. Warunki te osiąga się poprzez odpowiednie kształtowanie geometrii typowych elementów powłoki (rys. 1), do których należą: łupina cylindryczna stanowiąca samą powłokę, elementy wezglówiowe usztywniające powłokę w kierunku poprzecznym, kształtowane jako belki lub tarcze wzmacniające brzegi łupiny oraz przepony, które wykonuje się w postaci pełnych tarcz, łuków ze ściągami, ramółuków lub kratownic. Istotne przy kształtowaniu powłok jest także zabezpieczenie ich przed zjawiskiem skurczu betonu, co odbywa się poprzez wykonywanie dylatacji. Ponadto przy projektowaniu powłoki walcowej należy zwrócić uwagę na jej grubość. Od niej bowiem zależy ciężar własny konstrukcji, który jest obciążeniem głównym przekrycia dachowego. Przyjmuje się, że ze względów wykonawczych grubość powłoki nie powinna być mniejsza niż 6 cm. W konstrukcjach o dużych rozpiętościach stosuje się dodatkowo żebra usztywniające, poprzeczne i podłużne usztywniające konstrukcję [2, 5, 11].

3.2. Metody obliczania powłok [2, 5, 6, 10, 11]

Generalnie w obliczeniach powłok obrotowych korzysta się z założeń teorii błonowej. Przy obliczaniu powłok walcowych stosuje się dwie metody. Pierwszą z nich jest metoda oparta



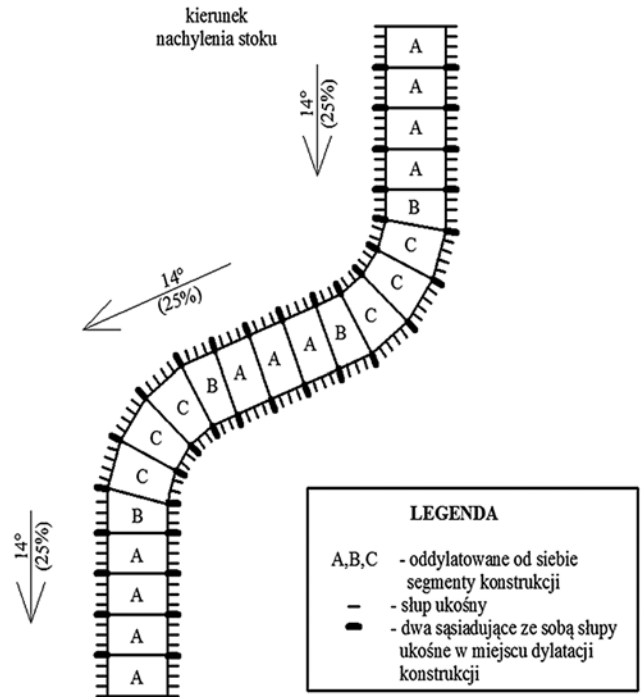
Rys. 1. Schemat powłoki walcowej

na teorii sprężystości, zaś druga odnosi się do teorii nośności granicznej. W powłokach obliczanych według teorii sprężystości przyjmuje się następujące założenia: ciągłe obciążenie powłoki, przy czym uwzględnia się ciężar własny i obciążenie śniegiem i wiatrem oraz że w wyniku podparcia powłoki powstają reakcje styczne do środkowej powierzchni powłoki. W ten sposób wyeliminowane zostaje zginanie, więc można założyć równomierny rozkład naprężeń na grubości powłoki. W obrębie tej metody możemy wyróżnić metodę analogii belkowej, która traktuje powłokę wraz z elementami węzłowymi jako belkę swobodnie podpartą. Dokładność tej metody jest odpowiednia głównie dla powłok długich. W metodzie nośności granicznej także możliwe jest zastosowanie metody analogii belkowej. Istotą tej metody jest jednak określenie zakresu strefy ściskanej betonu i określenie jej środka ciężkości. W tym celu wykorzystuje się odpowiednie tabele i nomogramy. Jako uproszczenie można zastosować sprowadzenie przekroju cylindrycznego powłoki do przekroju dwuteowego.

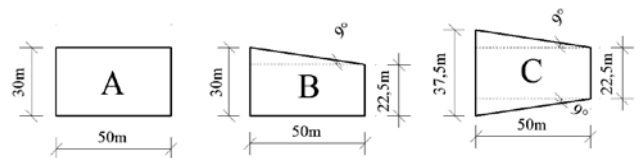
3.3. Konstrukcje łukowe w przekryciach dużych rozpiętości [3] Konstrukcja łukowa może stanowić przekrycie o rozpiętości sięgającej nawet do 100 m. Jej główną zaletą jest brak konieczności stosowania słupowych podpór pośrednich, co daje szerokie spectrum możliwości aranżacji zadanej przestrzeni. Łuki mają także korzystny z punktu widzenia wymiarowania konstrukcji charakter pracy. Dzięki występowaniu w nich niewielkich momentów zginających oraz głównie sił ściskających do wykonania ich potrzeba małej ilości stali.

4. Założenia architektoniczno-budowlane

Na podstawie informacji zgromadzonych podczas przeglądu literatury sformułowane zostały dwie główne koncepcje projektowe krytego stoku narciarskiego. Pierwszą z nich jest przekrycie krytego stoku narciarskiego w postaci powłoki walcowej, zaś drugą kryty stok narciarski jako rama zwieńczona żelbetowym łukiem. Trasa narciarska została zaprojektowana jako łatwa o średnim pochyleniu równym 14° (25%) (rys. 2). Jej długość wynosi 660 m, zaś szerokość 50 m. Parametry geometryczne stoku zostały dobrane zgodnie z wytycznymi FIS. Projektowana hala narciarska została podzielona dylatacjami co ok. 30 m, tworząc trzy typy segmentów A (11 sztuk), B (4 sztuki) oraz C (6 sztuk) (rys. 3). Wewnątrz obiekt został podzielony na trzy strefy. Najszerszą z nich stanowi część zjazdowa (ok. 40 m). Obok niej zlokalizowana jest



Rys. 2. Schemat podziału krytego stoku narciarskiego na segmenty obliczeniowe



Rys. 3. Wymiary segmentów obliczeniowych

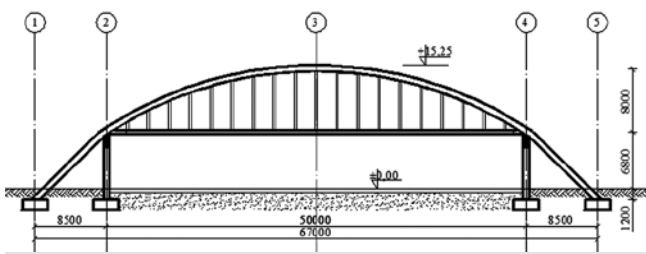


Rys. 4. Wizualizacja krytego stoku narciarskiego

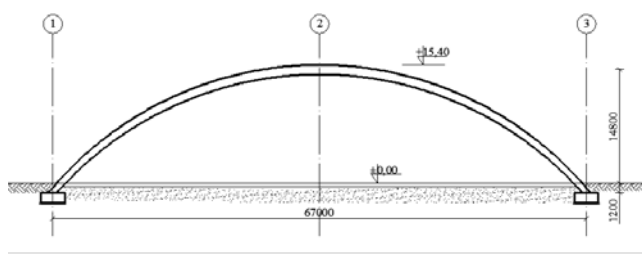
strefa transportowa z wyciągiem krzeselkowym. Przy wejściu do obiektu mieści się część organizacyjno-rekreacyjna. Kryty stok narciarski zlokalizowany jest w leżących ok. 3 km od Białegostoku Ogrodniczkach na terenie byłych żwirowni. Naturalne ukształtowanie terenu będzie stanowiło pochylenie stoku. Wizualizację obiektu przedstawiono na rysunku 4.

4.1. Przekrycie krytego stoku narciarskiego w postaci powłoki walcowej

Przekrycie obiektu będzie stanowiła powłoka żelbetowa o stałej grubości równej 10 cm. W niniejszej pracy rozpatrzone



Rys. 5. Przekrój poprzeczny przez przeponę w powłoce nieuzębrowanej (koncepcja projektowa nr 1)



Rys. 6. Przekrój poprzeczny przez łuk żelbetowy w koncepcji projektowej nr 2

zostały powłoki uzębrowane, jak też pozbawione żeber poprzecznych. Konstrukcję wsporczą przekrycia stanowią słupy proste o wysokości 8 m oraz wspomagające je lub nie, w zależności od wariantu obliczeniowego, słupy ukośne (rys. 5).

4.2. Konstrukcja krytego stoku narciarskiego jako ramy zwieńczonej łukiem żelbetowym

Konstrukcję krytego stoku narciarskiego zaprojektowano jako swego rodzaju układ ramowy zwieńczony łukami żelbetowymi w rozstawie co 7,50 m. Rozpatrzono dwa rodzaje zamocowania łuku w fundamencie. Przeanalizowano zamocowanie sztywne oraz przegubowo – nieprzesuwne. Przekrój konstrukcji przez łuk pokazano na rysunku 6. Między łukami, jako poszycie dachu, zastosowano prefabrykowane, sprężone płyty dachowe.

5. Obliczenia statyczne

5.1. Zebranie obciążeń działających na konstrukcję przekrycia hali

Podczas zbierania obciążeń działających na konstrukcję przekrycia hali uwzględniono obciążenia stałe, w tym ciężar paneli fotowoltaicznych, wspomagających zaopatrzenie krytego stoku narciarskiego w energię elektryczną niezbędną, m.in. do obsługi układu chłodzącego, zlokalizowanych jedynie od strony południowej dachu obiektu. Rozpatrzono także obciążenie użytkowe zgodnie z normą [N2]. Sposób obliczenia obciążenia śniegiem konstrukcji krytego stoku narciarskiego jako powłoki walcowej oraz łuku podaje norma [N3] w punkcie 5.3.5. Wówczas uwzględnia się dwa przypadki obciążenia konstrukcji śniegiem: obciążenie śniegiem równomierne i nierównomierne przy założeniu trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej. W kalkulacjach uwzględniono także obciążenie przekrycia i ścian obiektu wiatrem [N4] oraz obciążenie skurczem betonu [N5].

5.2. Obliczenia konstrukcji krytego stoku narciarskiego metodą elementów skończonych z wykorzystaniem programu komputerowego

W niniejszej pracy do obliczeń numerycznych wykorzystano program komputerowy Robot Structural Analysis 2015, w którym zostały zamodelowane trzy typy segmentów, na które została podzielona trasa narciarska (rys. 7). Powłoka walcowa została utworzona za pomocą konturów o wymiarach 2,50×2,50 m, które następnie zostały zamienione w panele obliczeniowe. Przy tworzeniu siatek elementów skończonych zastosowano siatkowanie proste Coons. Rozmiar oczka siatki to 0,50×0,50 m. Elewację zamodelowano w postaci okładzin, z których obciążenie wiatrem przekazywane jest na słupy proste. Wszystkie połączenia w programie zaprojektowano

jako sztywne. Analizę konstrukcji przeprowadzono wg wzorów statyki liniowej. Podłoże zamodelowano jako sztywne. Konstrukcja krytego stoku narciarskiego w obrębie koncepcji projektowej nr 1 została obliczona w programie w 4 wariantach:

- wariant nr 1: żelbetowa powłoka walcowa o grubości 10 cm z żebrami poprzecznymi o przekroju 25×50 cm w rozstawie co 2,50 m, oparta dodatkowo na słupach skośnych,
- wariant nr 2: żelbetowa powłoka walcowa o grubości 10 cm z żebrami poprzecznymi o przekroju 30×70 cm co 2,50 m, oparta dodatkowo na słupach skośnych,
- wariant nr 3: żelbetowa powłoka walcowa o grubości 10 cm z żebrami poprzecznymi o przekroju 25×50 cm co 2,50 m, pozbawiona dodatkowego oparcia na słupach skośnych,
- wariant nr 4: żelbetowa powłoka walcowa o grubości 10 cm nieuzębrowana, oparta dodatkowo na słupach skośnych.

Zastosowano następujące przekroje w wariantach 1–4 elementów konstrukcyjnych: słup przepony: 30×30cm; słupy skośne i proste: 70×70cm; belki węzłowiowe: 70×140 cm; pas górny przepony: 30×70 cm; pas dolny przepony: 30×50 cm. W programie komputerowym wszystkie wartości obciążeń zostały wprowadzone jako charakterystyczne. Współczynniki obliczeniowe zostały im przypisane dopiero na etapie tworzenia kombinacji. Utworzono kombinację ręczne obciążeń, przy tworzeniu których wykorzystano wzór 6.10 z [N1].

5.3. Rezultaty obliczeń przeprowadzonych w programie komputerowym

Analizy porównawczej wariantów obliczeniowych dokonano w dwóch grupach – oddzielnych dla każdej z dwóch koncepcji projektowych. Rezultaty obliczeń powłok żelbetowych (tab. 1) porównano wg sił membranowych w przekroju poprzecznym oraz podłużnym (rys. 8, 9) oraz wg momentów zginających w płaszczyźnie poprzecznej i podłużnej. Rozważania dotyczą segmentu A, w związku z tym wymiarowanie było przeprowadzone w pracy dyplomowej jedynie dla niego. Podcięte segmenty powłoki tj. B i C mają podobny przebieg sił wewnętrznych w związku z tym zaprojektowane zbrojenie dla segmentu A będzie mogło zostać przyjęte także na segmentach B i C. Konstrukcja krytego stoku narciarskiego w obrębie koncepcji projektowej nr 2 została obliczona w programie komputerowym w 2 wariantach:

- wariant nr 5: łuk żelbetowy o przekroju 60×120 cm rozstawiony co 7,50 m zamocowany sztywno,
 - wariant nr 6: łuk żelbetowy o przekroju 60×120 cm rozstawiony co 7,50 m zamocowany przegubowo – nieprzesuwne.
- Obciążenia w programie zostały dodane jako liniowe przyłożone do konstrukcji łuku. Przypadki obciążeń oraz kombinacje oddziaływań pozostały niezmiennie w stosunku do tych



Rys. 7. Schemat modelu segmentu A powłoki walcowej uźebrowanej (wariant obliczeniowy nr 1)

zadanych przy obliczaniu pierwszej koncepcji projektowej krytej hali narciarskiej.

W wyniku obliczeń numerycznych uzyskano i porównano, w obrębie wyżej wymienionych dwóch wariantów obliczeniowych, wartości momentów zginających w płaszczyźnie łuku – M_y (kNm) oraz wartości sił ściskających – F_x (kN). Wartości z obwiedni sił F_x oraz M_y zestawiono w tabeli 2.

5.4. Obliczenia statyczne metodą analityczną powłokowego przekrycia hali w czwartym wariantcie i porównanie z wynikami uzyskanymi z obliczeń numerycznych

W pierwszym etapie analizy zostały ustalone parametry geometryczne powłoki. Na ich podstawie wykonano obliczenia analityczne wg metody analogii belkowej korzystającej z założeń teorii sprężystości [2]. Rezultaty tych obliczeń posłużą do weryfikacji poprawności wyników uzyskanych z obliczeń numerycznych w programie komputerowym. W celu porównania wartości sił wewnętrznych w powłoce uzyskanych z obliczeń numerycznych oraz metodą analityczną, w programie Robot Structural Analysis 2015 zostały utworzone dwa odrębne przypadki obciążeń. Dla segmentu A w wariantcie obliczeniowym nr 4 porównano wyniki otrzymane dla obciążenia stałego przekrycia (ciężar powłoki + warstw dachowych) oraz obciążenia równomiernego śniegiem. Otrzymane rezultaty zestawiono w tabeli 3.

6. Podsumowanie

Przekrycie krytego stoku narciarskiego zaproponowano w 6 wariantach w obrębie dwóch koncepcji projektowych. Cztery warianty dotyczyły przekrycia w postaci powłoki walcowej, zaś dwa pozostałe dotyczyły łuku żelbetowego sztywno lub przegubowo – nieprzesuwnie zamocowanego w fundamencie. Na podstawie obliczeń wykonanych w programie Robot Structural



Rys. 8. Siły membranowe na kierunku podłużnym – N_{XX} (kN) w wariantcie 1 dla przykładowej kombinacji obciążeń, uwzględniającej obciążenie: stałe, użytkowe, skurczem betonu i nierównomierne śniegiem



Rys. 9. Siły membranowe na kierunku poprzecznym – N_{YY} (kN) w wariantcie 1 dla przykładowej kombinacji obciążeń, uwzględniającej obciążenie: stałe, użytkowe, skurczem betonu i nierównomierne śniegiem

Analysis 2015 stwierdzono, że zastosowanie w powłoce żelbetowej żeber poprzecznych o przekroju 25×50 cm w rozstawie co 2,5 m korzystnie wpływa na wartości momentów, zmniejszając ich wartości. Jeszcze lepsze rezultaty uzyskano, zwiększając przekrój żeber do 30×70 cm. Wówczas powłoka jest praktycznie wolna od zginania i cechuje ją charakterystyczny dla tego typu konstrukcji stan bezmomentowy. Zaburzenia stanu błonowego obserwujemy w strefach podporowych w wyniku oparcia łupiny na belkach wezglówiowych oraz niesymetrycznego obciążenia w postaci paneli słonecznych. Wykonanie żeber jest jednak kłopotliwe ze względów technologicznych, wobec tego zaprojektowano powłokę nieuźebrowaną, którą również cechują stosunkowo niewielkie wartości momentów zginających oraz równomierna praca – ściskanie w całej powłoce w kierunku podłużnym. W konstrukcji zastosowano dodatkowo oparcie na słupach skośnych, zapewniające naturalny spływ sił z zakrzywionej łupiny do fundamentów, bez którego siły membranowe zarówno w kierunku poprzecznym, jak i podłużnym znacząco wzrastają. Przekrycie w postaci łuku żelbetowego w tym przypadku byłoby całkowicie nieuzasadnione ze względów ekonomicznych z powodu dużego zużycia

Tabela 1. Rezultaty z obliczeń wariantów dotyczących powłok żelbetowych w programie Robot Structural Analysis 2015

Wariant	Moment w płaszczyźnie poprzecznej		Momenty w płaszczyźnie podłużnej		Siły membranowe na kierunku poprzecznym		Siły membranowe na kierunku podłużnym	
	MIN (kNm)	MAX (kNm)	MIN (kNm)	MAX (kNm)	MIN (kN)	MAX (kN)	MIN (kN)	MAX (kN)
1	-4,46	5,74	-2,83	5,58	-81,84	389,39	-747,29	235,00
2	-4,21	5,54	-2,45	3,80	-84,56	401,12	-553,43	231,24
3	-16,17	9,80	-6,84	11,89	-391,99	654,98	-1937,74	550,21
4	-14,09	13,66	-14,53	13,41	-251,98	394,55	-1053,69	175,57

Tabela 2. Zestawienie ekstremalnych wartości rezultatów obliczeń numerycznych dla drugiej koncepcji projektowej krytego stoku narciarskiego

Wariant	Momenty w płaszczyźnie łuku		Siły ściskające MAX (kN)
	MIN (kNm)	MAX (kNm)	
5	-1027,72	3325,64	-4995,36
6	-2443,02	2178,68	-4858,36

Tabela 3. Porównanie wyników obliczeń komputerowych i analitycznych

Schemat z obciążeniem stałym			
Porównywana wartość	Wynik uzyskany		Różnica
	w programie komputerowym	z metody analitycznej	
Moment zginający w miejscu podparcia [kNm]	35,31	25,48	28%
Moment zginający w środku rozpiętości [kNm]	15,89	9,58	40%
Maksymalny moment przęsłowy [kNm]	17,06	9,71	43%
Siła podłużna w miejscu podparcia [kN]	-146,87	-200,98	-37%
Siła podłużna w środku rozpiętości [kN]	-138,19	-168,23	-22%
Siła podłużna w miejscu występowania maksymalnego momentu [kN]	-140,38	-186,38	-33%
Siła poprzeczna w miejscu podparcia łuku (wartość bezwzględna) [kN]	8,54	6,27	27%
Schemat z obciążeniem równomiernym śniegiem			
Porównywana wartość	Wynik uzyskany		Różnica
	w programie komputerowym	z metody analitycznej	
Moment zginający w miejscu podparcia [kNm]	16,58	13,19	20%
Moment zginający w środku rozpiętości [kNm]	6,62	5,05	24%
Maksymalny moment przęsłowy [kNm]	8,70	5,04	42%
Siła podłużna w miejscu podparcia [kN]	-118,18	-89,05	25%
Siła podłużna w środku rozpiętości [kN]	-82,19	-76,24	7%
Siła podłużna w miejscu występowania maksymalnego momentu [kN]	-74,60	-84,14	-13%
Siła poprzeczna w miejscu podparcia łuku (wartość bezwzględna) [kN]	5,63	4,88	13%

materiałów. W celu zapewnienia przekrojowi nośności należałoby wykonać przekrój o wysokości min. 1,20 m. Wyniki uzyskane w programie komputerowym porównano z obliczeniami analitycznymi. Uzyskano różnice wartości rzędu

30% spowodowane oparciem konstrukcji na odkształcalnych belkach węzłowych, czego nie uwzględniają wzory zawarte w literaturze oraz faktem, iż zamodelowaną konstrukcją w programie komputerowym cechują zaburzenia momentów wynikające z połączeń paneli, które nie występują rzeczywistości w konstrukcjach powłokowych.

Odrębnym zagadnieniem jest obciążenie tego typu konstrukcji wiatrem. Norma podaje wzory i zależności dla dachów walcowych, które zostały uwzględnione w obliczeniach, jednak konstrukcja o tak zróżnicowanej geometrii (zakręty, pochyły teren) i wielkich gabarytach wymaga dokładniejszej analizy przy użyciu specjalistycznych programów komputerowych oraz próby w tunelu aerodynamicznym.

Uwadze należy poświęcić także sposób posadowienia konstrukcji krytego stoku narciarskiego na gruncie. Za względu na duży ciężar konstrukcji należałoby rozważyć wykonanie fundamentu palowego, obliczenia którego nie są jednak przedmiotem niniejszej pracy dyplomowej.

Anna Bernatowicz (Krajewska): Wariantowy projekt konstrukcji krytego stoku narciarskiego. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Białostocka, Białystok 2015 (rok akademicki 2014/2015). Praca została wyróżniona w Konkursie „Na Najlepsze Prace Dyplomowe Absolwentów Studiów Wyższych Kierunku Budownictwo”. Konkurs zorganizowany został przez PZITB Oddział w Białymstoku oraz Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. Praca otrzymała Wyróżnienie Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej, Białystok 2015.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Amoniak i dwutlenek węgla dla lodowisk i krytych stoków narciarskich, Chłodnictwo i klimatyzacja 12/2008, str. 52–54
- [2] Grabiec K., Żelbetowe konstrukcje cienkościenne, Warszawa – Poznań, PWN, 1991
- [3] Kobiak J., Stachurski W., Konstrukcje żelbetowe, tom 3, Warszawa, Arkady, 1989
- [4] Kowal A., Powłokowe przekrycia o dużej rozpiętości, Materiały Budowlane 11/2005, str. 22–23
- [5] Lundgren H., Powłoki walcowe, Warszawa, Arkady, 1963
- [6] Menyhárd I., Konstrukcje powłokowe, obliczenia statyczne i kształtowanie, Warszawa, Arkady, 1971
- [7] Pawłowski A. Z., Rozwój przekryć dużych rozpiętości, Materiały Budowlane 08/2011, str. 35–38
- [8] Szafranski M., Bydliński M., Narciarstwo od amatorów do zawodowców, Olesznica, Bosz, 2011
- [9] Walkus B., Podstawy projektowania betonowych przekryć powłokowych, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 1991
- [10] Wilby C. B., Khwaja I., Concrete shell roofs, London, 1977
- [11] Wojewódzki W., Nośność graniczna powłok, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002
- [12] Żółtowski K., Romaszkiwicz T., Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne zadaszeń stadionów, Materiały Budowlane 6/2012, str. 34–36

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [S1] www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2003/K_023_03.PDF
- [S2] www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2013/K_129_13.PDF
- [N1] PN-EN 1990:2004 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji
- [N2] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1– Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne – ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [N3] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem
- [N4] PN -EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1– Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
- [N5] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonem. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [P1] Autodesk – Robot Structural Analysis 2015 – wersja studencka
- [P2] Autodesk – AutoCAD 2014 – wersja studencka
- [P3] Autodesk – Revit 2015 – wersja studencka