

Archivolta 2(54)/2012 s. 20-28

UEFA Stadion Narodowy w Warszawie 2012

National Stadium in Warsaw 2012

Consortium: JSK Architekci, Gerkan, Marg und Partners International GmbH,
Schlaich Bergermann & Partner GmGH

Krystyna Januszkiewicz
WA Politechnika Poznańska

Słowa kluczowe; architektura, national stadium, konstrukcja, przekrycie, projektowanie cyfrowe
Keywords: architecture, national stadium, structure, roofing, digital design

Streszczenie

29 stycznia bieżącego roku wielkim koncertem zespołów rockowych dokonano inauguracji Stadionu Narodowego w Warszawie. Oddano do użytku wielofunkcyjny obiekt sportowy umożliwiający organizację różnego rodzaju widowisk sportowych, koncertów muzycznych oraz wydarzeń kulturalnych. Stadion Narodowy powstał z okazji organizacji przez Polskę (wraz z Ukrainą) Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej UEFA Euro 2012. Podczas meczów może pomieścić 55 tys. widzów w tym 106 miejsc przeznaczonych jest dla niepełnosprawnych. Posiada 4 kategorię w klasyfikacji UEFA (najwyższą). Podczas koncertów zaś stadion może przyjąć nawet 72,9 tys. widzów. Stadion Narodowy w Warszawie jest największym obiektem sportowym w Polsce.

Stadion Narodowy, za wyjątkiem konstrukcji nośnej przekrycia i samego przekrycia, jest ekonomiczną konstrukcją żelbetową. Dziś zawansowane cyfrowe narzędzia projektowania zawarte w programach cyfrowych, jak na przykład DIANA czy MIDAS, ułatwiają nie tylko na rozwiązywanie zagadnień inżynierskich i wykonywanie obliczeń, ale także pozwalają optymalizować konstrukcje, także pod względem zużycia materiału.

Konstrukcja nośna przekrycia oparta na zasadzie koła rowerowego. Elementem ściskanym jest tu pierścień zewnętrzny złożony z 72 części o wadze 48 ton każda. Opierają się one na 72 słupach o przekroju 1000 mm, a o wysokości 34 m i wadze 48 ton. Długość pierścienia ściskanego wynosi 900 m. Na szczycie każdego ze słupów dodano odpowiedniej wysokości zastrzały, do których mocowany jest system lin podtrzymujących membranowe przekrycie trybun. Aby utrzymać równowagę pracy konstrukcji potrzebne były odciągi sprowadzające siły napinające liny na podłoże. 50 procent sił horyzontalnych jest tu bezpośrednio sprawdzanych na fundamenty.

Opracowane przez Schlaich Bergermann & Partner przekrycie Stadionu Narodowego, to pierwsze w Europie przekrycie o powierzchni 40 000 m² (wraz z dachem rozsuwanym).

Abstract

January 29, 2012 was the day of the Inauguration of the National Stadium in Warsaw. The new stadium constructed for the UEFA European Football Championships 2012 had been carefully developed to be inserted into the existing 10th-Anniversary Stadium in Warsaw. The stadium has a seating capacity of 55,000. Its construction commenced in 2008 and was completed in November 2011. The stadium is equipped with a heated pitch, training pitch, façade lighting, movable roof and an underground parking space. It is also a multipurpose object providing organization of sports events, concerts, cultural events and it also enables sales, conferences and gastronomic functions (it contains 50 fast food courts and the sales surface of 25,000 m²).

The stadium has a unique retractable PVC roof which unfolds from a nest on a needle suspended above the centre of the pitch. The secondary supported membrane is held by radial cables based on the wheel-and-spoke concept. The compression ring consists of a thick-walled round hollow steel profile, which is supported by vertical steel columns. Radiating from the compression ring to the connection points of the upper radial cables are diagonal compression rods. The tension rods of the outer façade simultaneously serve to keep the horizontal cable forces in balance. The main roof spans across the entire tribune, while the inner roof was designed as an operable roof. The operable inner roof can be stored in the central membrane-garage, located at the flying mast above the middle of the playing field.

The stadium is one of the venues for the UEFA Euro 2012 hosted jointly by Poland and Ukraine. Three A Group matches, the quarter final and the semi final are to be played there (with the other matches in that group played at Wrocław Stadium).

29 stycznia bieżącego roku wielkim koncertem zespołów rokowych dokonano inauguracji Stadionu Narodowego w Warszawie. Oddano do użytku wielofunkcyjny obiekt sportowy umożliwiający organizację różnego rodzaju widowisk sportowych, koncertów muzycznych oraz wydarzeń kulturalnych. Stadion Narodowy powstał z okazji organizacji przez Polskę (wraz z Ukrainą) Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej UEFA Euro 2012. Podczas meczów może pomieścić 55 tys. widzów w tym 106 miejsc przeznaczonych jest dla niepełnosprawnych. Posiada 4 kategorię w klasyfikacji UEFA (najwyższą). Podczas koncertów zaś stadion może przyjąć nawet 72,9 tys. widzów. Stadion Narodowy w Warszawie jest największym obiektem sportowym w Polsce.

Do przetargu na zaprojektowanie tego obiektu stanęły w 2007 trzy polskie biura projektowe, a to: APA KA (Kuryłowicz & Associates), HOK Sport oraz JSK Architekci. Koncepcja przedstawiona przez JSK wygrała ten konkurs i powstało konsorcjum w którego skład weszły obok JSK Architekci-Dawos najlepsze w Europie biura takie jak von Gerkan, Marg und Partners International oraz Schlaich Bergermann & Partner specjalizujące się w projektowaniu wieloprzestrzennych obiektów nie tylko sportowych. W grudniu tego samego roku zapadła decyzja budowy stadionu Narodowego w miejscu zdegradowanego już Stadionu X-lecia. Stadion ten powstał ze względu na powierzenie Warszawie organizacji V Światowego Festiwalu Młodzieży i Studentów w 1955 i miał stać się główną areną imprezy.

Zaprojektowany przez zespół Jerzego Hryniewieckiego (1908-1989) Stadion X-lecia był wielofunkcyjnym stadionem piłkarsko-lekkoatletyczny, był obiektem olimpijskim z pełnowymiarowym boiskiem do piłki nożnej oraz 8-torową bieżnią lekkoatletyczną o długości 400 m. Posiadał odkryte trybuny ziemne z drewnianymi ławkami mieszczącymi 71,008 osób, choć w czasach największych imprez masowych zasiadało na nich prawie 100,000 widzów. Stanowił własność Skarbu Państwa. W latach 1989-2008 znajdowało się tu największe targowisko w Europie (*Jarmark Europa* oraz Centrum Hurtowo Detaliczne *Stadion*). W lutym 2008 projektanci przedstawili projekt koncepcyjny nowego stadionu w tym miejscu.

Pierwsze roboty budowlane rozpoczęły się w maju 2008 od próbnego palowania betonem, niecki, skarpy trybun i korony starego obiektu w celu wzmocnienia podłoża dla fundowania obiektu nowego. Do uformowania Stadionu X-lecia użyto bowiem gruzów pozostałych po zniszczonej wojną Warszawie. Koncepcja projektowa zakładała wykorzystanie zastanej konfiguracji ziemnej przez integralne powiązanie jej z formą nowego stadionu.

Dziś ponad poziomem istniejącego boiska wzniesiono dwie kondygnacje parkingów dla 1800 samochodów, do których wjazd odbywa się przez półkoliste bramy charakterystyczne dla poprzedniego stadionu. Nowa murawa, już na płycie żelbetowej położona jest zatem 8 m. wyżej niż istniejąca, jest podgrzewana i łatwiejsza w utrzymaniu. Podczas innych imprez takich jak koncerty, murawa musi być chroniona nasuwaną lekką płytą, którą należy zdemontować w ciągu 5 dni od jej nałożenia. Innym rozwiązaniem było ułożenie murawy na ruchomej platformie wysuwanej jedynie na czas meczy.

Widownia Stadionu Narodowego składa się z dwóch poziomów trybun dolnego i górnego. Dawna korona Stadionu X-lecia, jest teraz głównym elementem komunikacyjnym, dostępna od zewnątrz po licznych schodach i pochylniach. Obiegając stadion wokół jest rodzajem promenady dając dostęp, nie tylko do dwóch poziomów trybun, ale także licznych usług towarzyszących. Obiekt bowiem oprócz widowisk będzie pełnił również funkcje biurowe, handlowe, hotelowe, gastronomiczne. Stadion posiada największe centrum konferencyjne w Warszawie dla 1600 osób, a jego powierzchnia biurowa i handlowa to 25,000 m². W efekcie spodziewać się można, że codziennie na stadionie przebywać będzie ok. 2-3 tys. osób¹.

Stadion Narodowy, za wyjątkiem konstrukcji nośnej przekrycia i samego przekrycia, jest ekonomiczną konstrukcją żelbetową. Dziś zawansowane cyfrowe narzędzia projektowania zawarte w programach cyfrowych, jak na przykład DIANA czy MIDAS, ułatwiają nie tylko na rozwiązywanie zagadnień inżynierskich i wykonywanie obliczeń, ale także pozwalają optymalizować konstrukcje, także pod względem zużycia materiału. Zamiast pełnych stropów zastosowano tu stropy zwane *bubbledeck*. Jest to system, który polega na usunięciu z projektowanej konstrukcji zbędnej masy betonu, w wyniku czego powstaje wytrzymała struktura z przenikających się quasi belek, pomiędzy

¹ Więcej patrz: <http://www.stadionnarodowy.org.pl/stadion/stadion-narodowy> (z dnia 20.04.2012).

którymi jest pustka. Plastikowe kule umieszcza się w obszarach, gdzie nie ma żadnej konstrukcyjnej korzyści z użycia betonu. Zalety tego rozwiązania to m.in. lżejsze stropy w stosunku do stropów monolitycznych, czyli zmniejszenie obciążenia na kolejne kondygnacje i fundamenty, ponad 20% oszczędność na zużyciu betonu oraz brak belek podporowych - płaskie powierzchnie stropów i łatwość łączenia z innymi technologiami, w których wykonuje się stropy. W tym systemie wykonano ok. 170 000 m² stropów ośmiokondygnacyjnej konstrukcji żelbetowej. Korona nowego stadionu znalazła się na wysokości 41 m ponad poziomem murawy Stadionu X-lecia.

Konstrukcja niosąca przekrycie

System strukturalny przekrycia Stadionu Narodowego można przyrównać do konstrukcji koła rowerowego składającego się z piasty, napiętych szprych i obręczy. Naciąganie (napinanie) szprych doprowadza się zawsze do takiego poziomu, aby w pojedynczej szprysze zawsze występowało rozciąganie (z zachowaniem kształtu obręczy koła). Elementy naprężane zatem domagają się wprowadzenia elementu ściskanego. Takim elementem ściskanym jest tu pierścień zewnętrzny złożony z 72 części o wadze 48 ton każda. Opierają się one na 72 słupach o przekroju 1000 mm, a o wysokości 34 m i wadze 48 ton rozmieszczonych po obwodzie zewnętrznym stadionu. Aby uniknąć ich wybożenia słupy te spina, u ich podstawy, kolejny pierścień czyniąc w ten sposób sztywną obręcz o szerokości/wysokości przewyższającej koronę trybun. Długość pierścienia ściskanego wynosi 900 m. Na szczycie każdego ze słupów dodano odpowiedniej wysokości zastrzały, do których mocowany jest system lin podtrzymujących lekkie, membranowe przekrycie trybun. Aby utrzymać równowagę pracy konstrukcji potrzebne były odciążenia prowadzące siły napinające liny na podłoże. 50 procent sił horyzontalnych jest tu bezpośrednio sprawdzanych na fundamenty². Jak duże są to siły, to zależy od ciężaru przekrycia trybun oraz układu i ilości lin je dźwigających. Wszystkie elementy tej stalowej konstrukcji o łącznej wadze ponad 11 tys. ton zostały wykonane w Włoszech (Pordenone). Stalowa konstrukcja podtrzymująca przekrycie stanowi również strukturę nośną dla obudowy stadionu.

Konstrukcja nośna przekrycia oparta na zasadzie koła rowerowego nie jest w Polsce nowa. Katowicki Spodek (1964-1971) to jeden z pierwszych, w skali światowej, obiektów z przekryciem zrealizowanym wedle koncepcji koła rowerowego opracowanej przez konstruktora Andrzeja Żórawskiego. Ważąca 300 ton stalowa konstrukcja kopuły połączona jest z zewnętrznym stalowym pierścieniem za pomocą 120 lin nośnych w formie prętowo-ciężnowych kratownic, na których osadzone jest pokrycie dachowe. W przypadku Stadionu Narodowego przekrycie jest dużo lżejsze, a zamiast ciężkiej kopuły w centrum znajduje się iglica z bocianim gniazdem, zawieszona 100 m ponad

Membranowa struktura przekrycia

Przekrycie Stadionu Narodowego to struktura membranowa złożona z dwóch zasadniczych części: stałej (ponad trybunami) i ruchomej (ponad murawą boiska). Część stałą od części ruchomej rozdziela pas szklanego dachu. W centrum przekrycia znajduje się iglica z „koszem” stabilizacyjnym, do której dochodzi promieniście 60 cięgien podtrzymujących strukturę całości przekrycia. Iglica mierząca 70 m jest stabilizowana przez 12 kabli, które mocowane są do pierścienia ściskanego w czterech przeciwnych punktach na obrzeżu stadionu. Proces otwierania lub zamykania dachu trwa około 20 minut i przeprowadza się go jedynie w temperaturze powyżej 5° C. Napędy zainstalowane na dachu służą do przemieszczania materiału membranowego w przypadku jego zamykania lub otwierania.

Materiał, z którego wykonano przekrycie ponad trybunami to membrana PTFE, wzmacniana włóknem szklanym tkanina pokryta warstwą teflonu. Jest ona półprzezroczysta. Taką tkaninę można łatwo modelować i łączyć z metalowym szkieletem, tak aby powierzchnia nie straciła ciągłości geometrycznej. Jest to materiał odporny na gneczenie oraz działanie czynników atmosferycznych (deszcz, nasłonecznienie), a także jest w stanie przyjąć obciążenia od mokrego śniegu o warstwie do 18 cm. Technologia produkcji membran typu PTFE należy do niemieckiej firmy Hightex GmbH. Tkaninę zaś wyprodukowano w Bangkoku, w zakładach firmy Asia Membrane Co. Ltd. Natomiast membrana rozsuwana to tkanina wykonana z polichlorku winylu (PVC) i poliestru. Jest transparentna, wytrzymała i wiotka.

² Patrz: K. Göppert, L. Haspel, A. Winkler, *National Stadium in Warsaw. General description of the structure*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr 276, Rzeszów 2011, s. 123-130.

Zanim dojdzie do realizacji struktury membranowej, projektant musi precyzyjnie określić położenie wszystkich elementów, kontrolować geometrycznie maksymalną liczbę punktów potrzebnych do opisanie systemu, który będzie konstruowany. Sugeruje to, że trzeba połączyć proces projektowania z kontrolą zachowań systemów materiałowych. Badania i eksperymenty Freia Otto (ur.1925) nad strukturami napinanymi i samoorganizacją systemów materiałowych pod wpływem sił zewnętrznych dały podstawy do stworzenia pierwszej cyfrowej bazy danych dla procedur zwanych *form-finding*.

W latach 70. XX w., wraz z rozwojem narzędzi cyfrowych, rozpoczęła się rewolucja w wyznaczaniu powierzchni minimalnych. Modelowania fizyczne zostały wyparte przez cyfrowe narzędzia konceptualne, które zastępują nawet najwyższe standardy modeli wykonywanych ręcznie. Modelowanie cyfrowe daje swobodę kreatywnemu projektowaniu i rozwiązywaniu problemów inżynierskich.

Modele powierzchni minimalnych weszły do przestrzeni informatycznej jako symulacje cyfrowe, opisując geometrię i zachowania struktur membranowych. Są to aproksymacje gładkich zakrzywionych powierzchni na siatce małych trójkątów, kontrolowanych przez siły wewnętrzne i właściwości materiału. W środowisku wirtualnym można symulować zachowania takich powierzchni w połączeniu z innymi obiektami fizycznymi (belki, kable, fundamenty), w których występują strukturalne skutki działania grawitacji, siły wiatru, obciążenia śniegiem i warunkami hydrostatycznymi oraz nakładanie się innych sił. Membranę zastępuje prosty model obliczeniowy, który generuje powierzchnię o naprężeniach takich samych we wszystkich kierunkach. Rządzi się on własnymi prawami dyktowanymi przez właściwości fizyczne medium modelowania.

Włókna w strukturze tkanin są na tyle małe, że można je traktować jako ciągle. Można zatem dzielić powierzchnie, na modelach 3D, tak aby wycinać płaskie wykroje, które zszywa się lub zgrzewa. Gdy przyjrzeć się materiałowi w większej skali, to dojrzeć można siatkę utworzoną przez włókna. Układ włókien jest pomocny podczas łączenia wykrojów, gdy istotne jest zachowanie ciągłości strukturalnej. Trzeba zatem wiedzieć jak rozłożyć siatkę czy system strukturalny lub dowolny wzór na zadanej powierzchni, aby uzyskać pożądaną ciągłość. Rozwiązuje to proces nazwany mapowaniem powierzchni i jest analogiczny do procesu teksturowania w grafice 3D, jakkolwiek podczas mapowania tekstury w układ współrzędnych wprowadza się parametryzację. Jest ona niezależna od geometrii siatki wielokątów, przez którą powierzchnia jest reprezentowana.

Opracowane przez Schlaich Bergermann & Partner przekrycie Stadionu Narodowego, to pierwsze w Europie przekrycie o powierzchni 40 000 m² (wraz z dachem rozsuwanym).

Fasada obiektu nawiązuje do polskich barw narodowych, przypominając falującą białą-czerwoną flagę i jest w kolorze srebrno-czerwonym, podobnie jak krzeselka na stadionie. Wykonano ją z lakierowanej siatki stalowej, która została sprowadzona z Hiszpanii. Za tą „plecionką” kryje się ściana osłonowa stadionu wykonana ze szkła i aluminium. Nie jest to ściana ciągła, co umożliwi przewietrzanie obiektu, także sprawia, że temperatura wewnątrz jest zbliżona do otoczenia mimo zamkniętego zadaszenia. Ażurowa fasada pozwala bowiem na naturalną wentylację pomieszczeń pod trybunami i dostęp do nich światła dziennego.

Plan zagospodarowania przestrzenne terenów wokół stadionu przewiduje utworzenie parku krajobrazowego, zbudowanie pierwszej w Warszawie hali widowiskowo-sportowej dla 20 tysięcy widzów, basenu olimpijskiego oraz centrum kongresowego dla 8 tysięcy osób oraz budowę kilku hoteli i biurowców.

BIBLIOGRAFIA

[1] K. Göppert, L. Haspel, A. Winkler, *National Stadium in Warsaw. General description of the structure*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr 276, Rzeszów 2011, s. 123-130.

[2] <http://www.stadionnarodowy.org.pl/stadion/stadion-narodowy> (z dnia 20.04.2012).

[3] K. Jnauzkiewicz, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych – stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna wydawnicza P Wr., Wrocław 2010.