



Systemy prętowo-ciężnowe składanych przekryć małych obiektów sportowych

Mgr inż. arch. Stanisław Jurczakiewicz, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Powstaje coraz więcej niewielkich obiektów sportowych przeznaczonych dla popularnego uprawiania tenisa, siatkówki, czy piłki nożnej. Chętnie są one rozgrywane na wolnym powietrzu, ale w naszym klimacie niezbędne jest też zapewnienie okresowej izolacji od warunków zewnętrznych zarówno w okresie zimy, jak i w upalne letnie dni. Takie sprzeczne wymagania spełnić mogą tylko obiekty z częściowo lub całkowicie składanymi konstrukcjami przekryć i ścian zewnętrznych. Szczególnie przydatne do realizacji takich urządzeń wydają się być lekkie systemy prętowo-ciężnowe.

2. Cechy konstrukcji prętowo-ciężnowych

Systemy prętowo-ciężnowe kształtowane są z rozciąganych ciężkich i membran oraz ściskanych prętów o formie prostej lub zakrzywionej. Niektórzy zaliczają do nich również konstrukcje pneumatyczne. Konstrukcje te są lekkie i bardzo efektywne pod względem wykorzystania cech wytrzymałościowych materiałów. Z tego wynikają ich zalety takie jak np. łatwość przekrywania dużych przestrzeni i krótki czas realizacji. Jednocześnie wpisują się one w obecny nurt rozwoju w harmonii z naturalnym środowiskiem. Na University of Miami wykonano badania porównawcze stalowej konstrukcji ciężkowej i stalowej kratownicy przestrzennej o rozpiętości 75 m. Okazało się, że system ciężkowy ma o 29% mniejszą masę, wymaga o 65,1% mniej energii na wytworzenie

(materiał i budowa), a przy jego produkcji emisja CO₂ jest mniejsza o 67,2%. Konstrukcje prętowo-ciężnowe przyjmują formy zgodne z naturalnymi kierunkami przepływu sił i niewątpliwie też z tego względu odbierane są pozytywnie pod względem estetycznym.

3. Ogólna systematyka dachów składanych

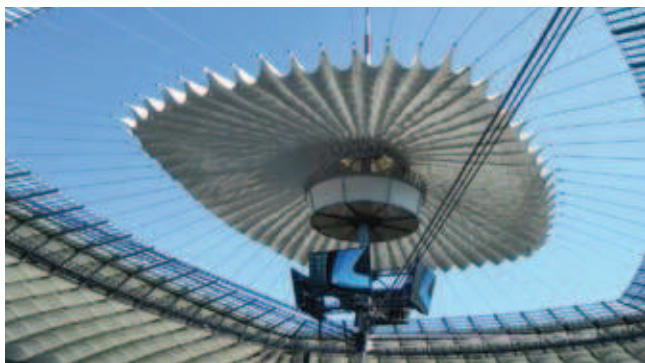
Obiekty ze zmieniającą się czasowo geometrią dachu są przykładami **architektury kinetycznej**, zaś pod względem konstrukcyjnym należą do **układów hybrydowych**, jako że części stałe i ruchome konstruowane są na ogół odmiennie. Można wyróżnić kilka typów obiektów ze składanymi dachami ze względu na ich funkcję i przewidywaną liczbę cykli otwierania i zamykania dachu wykonywanych w ciągu roku. Konstrukcje pierwszego typu otwierane są na wiosnę i zamykane jesienią, jak na przykład przekrycia basenów kąpielowych. Drugi typ obejmuje obiekty eksploatowane na ogół z dachem zamkniętym, a otwierane tylko okazjonalnie, przy dobrej pogodzie, np. hale wielofunkcyjne i sportowe przeznaczone dla niektórych dyscyplin. Obiekty trzeciego typu są na ogół otwarte, a zamykane tylko podczas odbywania imprez przy złej pogodzie, np. stadiony piłkarskie. Czwarty, ostatni typ to obiekty z dachami, które są często otwierane i zamykane, jak korty tenisowe lub hale rekreacyjne np. Seagaia Ocean Dome w Japonii i Tropical Islands w Niemczech. Poszczególne typy składanych dachów zmuszają do rozwiązania odmiennych problemów projektowych.



Rys. 1. System z równoległym przesuwem sztywnych paneli pokrytych membraną, Seagaia Ocean Dome, Japonia (1993), wymiary 100×300 m (rys. www.amusing-planet.com)



Rys. 2. System z obrotowym przesuwem sztywnych paneli pokrytych membraną, Tsugaru Dome (2002), połowy czasu rozchylają się na boki, rozpiętość 112 m (rys. tsugaru-kokusetsu.blogspot.com)



Rys. 3. System gromadzenia membrany przesuwanej wzdłuż lin rozpiętych na stałej konstrukcji, Stadion Narodowy w Warszawie (2011) (rys. www.datab.us)



Rys. 4. System składania membrany przymocowanej do ruchomej konstrukcji prętowej, Arkadenhof w Wiedniu (2000), rozpiętość 32 m (rys. www.sbp.de)



Rys. 5. Przekrycie pneumatyczne otwarte zespołu trzech kortów tenisowych w Krakowie (rys. autora)



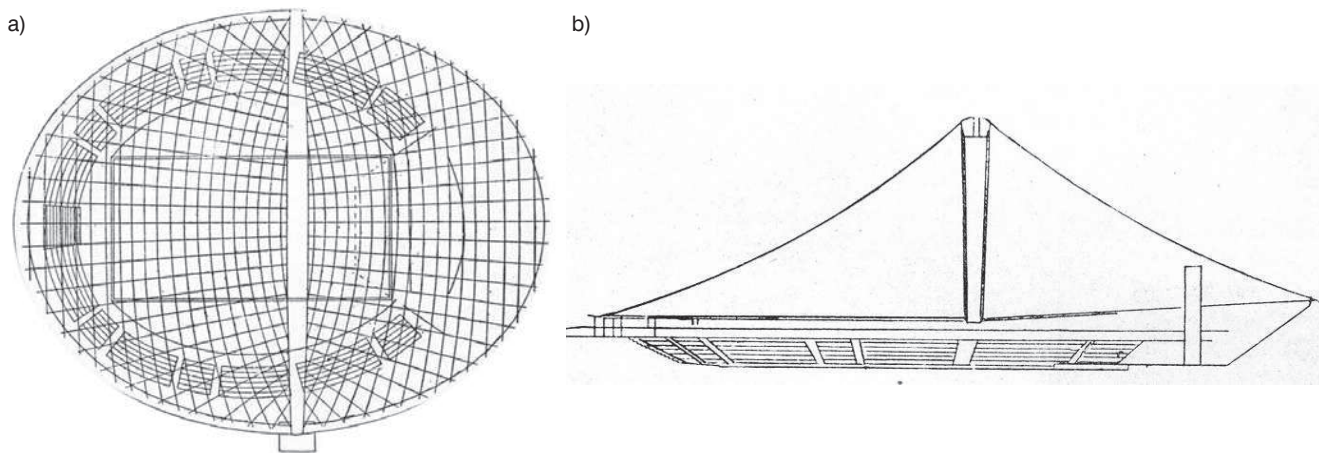
Rys. 6. Przekrycie pneumatyczne zamknięte kortu tenisowego (rys. www.inflatablewaterfun.com)

Pod względem konstrukcji, do tej pory wyodrębniły się dwie zasadnicze grupy składanych dachów: pierwsza, w której elementy o sztywnej, najczęściej kratownicowej konstrukcji, pokryte szkłem, tworzywem sztucznym lub membraną przesuwane są równolegle (rys. 1) lub obrotowo (rys. 2) oraz druga, w której składanie dachu polega na składaniu lub gromadzeniu membrany, przy czym ruch membrany odbywa się wzdłuż lin rozpiętych na stałej konstrukcji (rys. 3) lub też membrana przymocowana jest do składanej konstrukcji prętowej – jak w przypadku parasola (rys. 4). Przekrycia pneumatyczne dzielą się na dwie zasadnicze grupy: **otwarte** (rys. 5), które utrzymują swoją formę dzięki stałemu nadciśnieniu panującemu wewnątrz, podtrzymywanemu dzięki ciągłej pracy urządzeń nawiewnych i **zamknięte** (rys. 6) kształtowane z wypełnionych sprężonym gazem komór o formie liniowej (pręty), powierzchniowej (panele) lub przestrzennej (poduszki). W przestrzeni użytkowej obiektów zamkniętych panuje ciśnienie otoczenia i dzięki temu dostęp do wnętrza możliwy jest bez specjalnych śluz wejściowych. Ułatwione jest też przewietrzanie wnętrza.

4. Wybrane przykłady projektów i realizacji dachów składanych

W 1950 roku Maciej Nowicki zapoczątkował nową epokę w dziejach budownictwa projektem Areny w Raleigh

z powłokowym dachem wiszącym. Po jego tragicznej śmierci prace nad przekryciami powłokowymi i membranowymi kontynuowali niemieccy inżynierowie Frei Otto i Jörg Schlaich. Lekkość i możliwość dowolnego fałdowania materiałów membranowych doprowadziły do powstania wielu koncepcji dachów funkcjonujących na zasadzie składania tkaniny. W roku 1955 Otto zaprojektował membranowy dach dla teatru w Stuttgarcie [5] (rys. 7). Nad rzutem w kształcie elipsy planowano wzniesienie stalowego łuku o rozpiętości 60 m, wysokości 28,6 m oraz wymiarach przekroju skrzynkowego 3,20×2,08 m, do którego miały być przymocowane obustronnie druty nośne o średnicy 5 mm, po których przesuwana byłaby w pionie lekka tkanina pokrycia. Po obu stronach łuku przewidziano możliwość zgromadzenia tkaniny w stanie złożonym. W celu sprawdzenia przebiegu składania dachu, wykonano jego duży model ze wszystkimi elementami. Nie doszło jednak do realizacji obiektu. Pierwsze zrealizowane obiekty z membranowymi dachami składanymi pochodzą z lat 60. XX wieku i są owocem współpracy francuskiego architekta Roger Tailliberta oraz konstruktorów z zespołu Frei Otto. W 1965 roku nad teatrem na wolnym powietrzu w Cannes i rok później nad basenem w Paryżu zastosowano system punktowego podwieszenia powłoki do wózków przemieszczających się wzdłuż lin poprowadzonych skośnie między głowicą masztu i punktami zakotwień usytuowanymi



Rys. 7. Niezrealizowany projekt składanego dachu teatru w Stuttgarcie, autor: F. Otto [5]: a) rzut o wymiarach 76,4×60,0 m, b) przekrój podłużny

poza obszarem przekrycia. W stanie złożonym powłoka magazynowana była na szczycie masztu. Dach basenu jest eksploatowany do dziś, a czas składania powłoki wynosi około 12 minut (rys. 8). Podobny system zastosował Taillibert jeszcze na kilku basenach, a Otto przekrył w ten sposób m.in. teatr usytuowany w ruinach klasztoru w Bad Hersfeld.

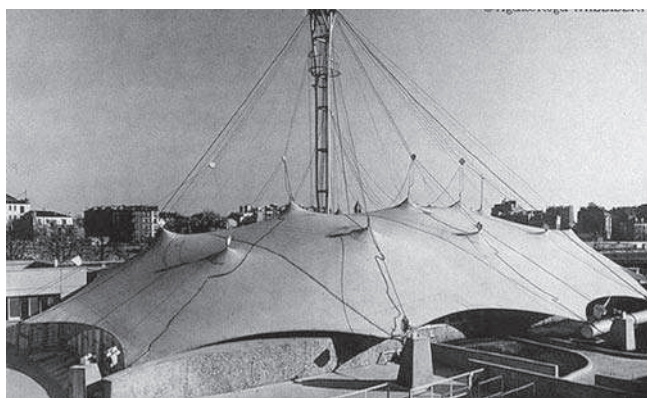
Membranowe składane konstrukcje dachów w formie parasoli zostały po raz pierwszy zastosowane przez Frei Otto w Köln w Niemczech w roku 1971. Pomysł ten podjął współautor projektu Bodo Rasch. W kolejnych latach realizował osłony przeciwsłoneczne złożone z parasoli. W 1992 r. dwanaście parasoli o wymiarach 17×18 m stało na dziedzińcach meczetu w Medynie, a w 2011 kolejne 250 o rozmiarach 26×26 m, wysokich na 15 m (rys. 9). W 2004 roku Otto i Rasch opracowali projekt zadania dla Schlossplatz w Stuttgarcie złożonego z czterech potężnych parasoli o rozpiętości 46 m. W tym przypadku przewidziano dodatkowo możliwość pełnej likwidacji parasoli po ich złożeniu przez spuszczenie do studni o głębokości 13 m.

W latach 60. XX wieku Emilio Pérez Piñero prowadził prace nad systemami składanych siatek przestrzennych

złożonych z nożycowo połączonych prętów. Tego typu konstrukcje wsporcze dla składanych dachów membranowych zastosowali Félix Escrig i José Sanchez. Rozkładanie membrany podwieszanej do dolnych węzłów struktury odbywało się wraz z jej ruchem. Największym takim obiektem jest składany dach o wymiarach rzutu 60×30 m wykonany nad basenem w Sewilli [1] w 1996 r. (rys. 10).

W 1988 roku J. Schlaich wykonał pierwszy dach pierścieniowo-linowy nad XVIII w. budynkiem Plaza de Toros w hiszpańskiej Saragossie, a w roku 1990 ruchome przekrycie o średnicy 36 m (1000 m²) jako uzupełnienie jego centralnej części. Zastosowano system ściągania membrany wzdłuż cięgien do umieszczonego centralnie „magazynu”. Podobny dach o średnicy 50 m (2000 m²) wykonano w twierdzy Kufstein w Austrii nad dziedzińcem przeznaczonym dla letnich koncertów (rys. 11). Mankamentem tego rozwiązania jest lokalizacja ciężkiego przesłaniającego elementu w rejonie środka dachu.

W 1998 roku Félix Escrig i José Sanchez zrealizowali nad areną do walki byków w Jaén w Andaluzji kolisty dach składany o średnicy 60 m. Jego linowa



Rys. 8. Basen przy Boulevard Carnot, Paryż, autor: Roger Taillibert (rys. www.agencetaillibert.com)



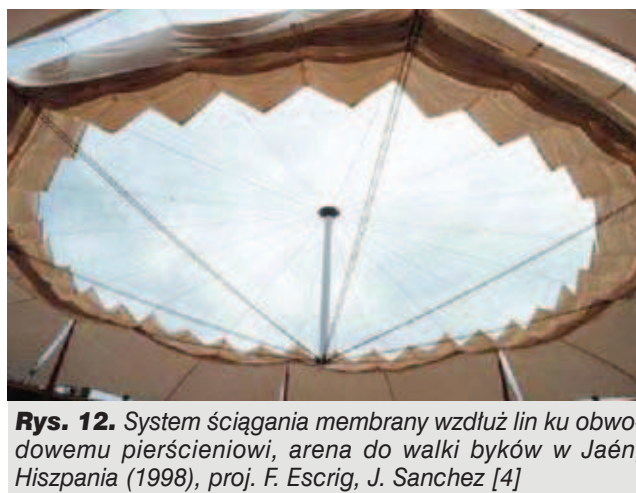
Rys. 9. Składane osłony przeciwsłoneczne w formie parasoli, meczet w Medynie (2011), proj. Bodo Rasch (źródło: jo.arabiaweather.com)



Rys. 10. Dach basenu w Sewilli, system nożycowo składanej siatki prętów, proj. F. Escrig, J. Sanchez (źródło: www.tensinet.com)



Rys. 11. System ściągania membrany do umieszczonego centralnie „magazynu”, składany dach w Kufstein, Austria (2006), proj. N. Kugel, A. Rein (fot. www.kugel-rein.eu)



Rys. 12. System ściągania membrany wzdłuż lin ku obwodowemu pierścieniowi, arena do walki byków w Jaén, Hiszpania (1998), proj. F. Escrig, J. Sanchez [4]

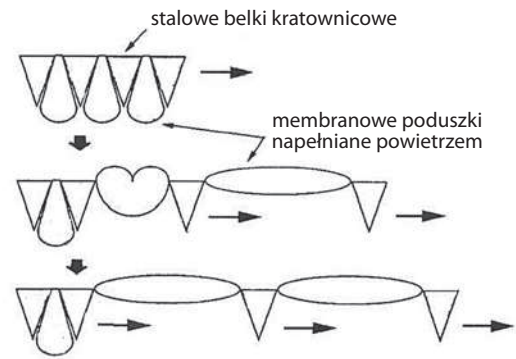
konstrukcja była podobna do obiektów w Saragossie i Kufstein, lecz w tym wypadku membranę rozsuwano na zewnątrz, ku obwodowi części składanej (rys. 12). Zaletą tego układu było to, że ze środka usunięto ciężki, przesłaniający element centralnego „magazynu” membrany. Konstrukcja przetrwała jednak tylko rok. Wkrótce uległa poważnemu uszkodzeniu podczas silnego wiatru.

„Akordeonowy” system składania dachu zastosowano na Toyota Stadium w mieście Aichi w Japonii (rys. 13). Część ruchomą zbudowano z serii oddzielnych, ruchomych kratownic przestrzennych o rozpiętości 90 m, wspartych na kratownicowych łukach umieszczonych po obu stronach boiska i pneumatycznych poduszek membranowych umieszczonych między nimi. Otwieranie dachu polega na kontrolowanym napełnianiu poduszek powietrzem, które powiększając swoją objętość, rozsuwają stalowe kratownice nośne ruchomego pasa dachu. Cała operacja zamknięcia dachu trwa 50 minut.

Na Wyspach Kanaryjskich zbudowano w 2008 roku pneumatyczną kopułę obserwatorium astronomicznego. Dwie połówki czaszy składają się z szeregu komór, które w miarę napełniania powietrzem unoszą się ku górze aż do całkowitego zamknięcia kopuły (rys. 14).

5. Podsumowanie

Pierwsze konstrukcje składanych dachów, które powstawały począwszy od lat 30. XX wieku, bazowały na technologii dźwigowej, rozwiniętej już dużo wcześniej. Konstrukcje tego rodzaju powstają nadal i niektóre z nich funkcjonują bezawaryjnie od ponad 25 lat (np. Roger Centre w Toronto z 1989 r.). Urządzenia tego typu są kosztowne i wymagają regularnej konserwacji. Nie wydają się więc odpowiednie dla mniejszych obiektów. Przedstawione przykłady realizacji składanych przekryć prętowo-ciężnowych pozwalają wstępnie ocenić ich zalety i wady oraz przydatność dla konkretnych zastosowań praktycznych. Ustroje ze stałymi konstrukcjami wsporczymi w postaci masztów ustawionych wokół boiska i zawieszonych na nich układami ciężnowymi oraz niekiedy „magazynami” dla złożonej membrany są niewygodne dla zajęć prowadzonych przy świetle dziennym z uwagi na cień rzucany na pole gry. Trudne jest też wykonanie powłoki o odpowiedniej izolacyjności termicznej. Ustroje ze składanymi konstrukcjami wspierającymi membranę mogą być ukształtowane w sposób eliminujący ten mankament (np. dachy głównych kortów dla turniejów wielkoszlemowych), ale są bardziej złożone pod względem mechanicznym. Dachy o konstrukcji



Rys. 13. Akordeonowy system składania dachu z poduszkami napelnianymi powietrzem, Toyota Stadium, Aichi, Japonia (2001), arch. Kisho Kurokawa (rys. skyscrapercity.com, schemat [3])



Rys. 14. Przekrycie z komorami nośnymi tworzącymi formę powierzchniową. Obserwatorium astronomiczne, średnica 15 m, Teneryfa, Hiszpania (2008) (rys. www.archiexpo.com)

parasoli mogłyby być zastosowane dla niewielkich placów gry, ale tylko jako letnia osłona przed słońcem i deszczem. Z pewnością interesująca jest możliwość całkowitego ukrycia tych urządzeń w podziemnych studniach. Na razie jednak nie ma przykładów ich zastosowań poza meczetami w Arabii Saudyjskiej. Konstrukcje pneumatyczne otwarte wymagają stosowania śluz wejściowych, a w dni cieplejsze panuje wewnątrz tropikalna atmosfera. Nie ma też praktycznie możliwości częstszego ich składania, niż jeden raz w roku.

Bazując natomiast na dwóch ostatnich przykładach konstrukcji pneumatycznych zamkniętych, które są rozkładane dzięki napełnianiu powietrzem poduszek membranowych, można ukształtować składane przekrycie obiektu nawet średniej wielkości. Poduszki spełniają dodatkowo rolę izolacji termicznej, a nawet, w bardziej zaawansowanej trójwarstwowej wersji, mogą regulować ilość światła dziennego przenikającego do wnętrza.

Elementy stabilizujące umieszczone między poduszkami będą najniższe, jeśli wykonane zostaną jako ustroje prętowo-ciężnowe.

ilustracje autora

BIBLIOGRAFIA

- [1] Escrig F., Valcárcel J. P., Sanchez J., Deployable cover on a swimming pool in Seville. Journal of the IASS, tom 37 (1996) nr 120, str. 39-70
- [2] Happold E., A history of convertible roofs. Architectural Design, nr 7/1973
- [3] Ishii K., Structural design of retractable roof structures, WIT Press 2000, Southampton, Boston, USA
- [4] Masubuchi M., Conceptual and structural design of adaptive membrane structures with spoked wheel principle – folding to the perimeter, Technischen Universität Berlin, 2013
- [5] Otto F., Dachy wiszące. Forma i konstrukcja, Arkady, Warszawa 1959
- [6] Pacchioni L., Architettura trasformabile. Evoluzione e analisi delle coperture convertibili, Politecnico di Milano, 2012-2013

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”
uzyskuje się 5 punktów
zgodnie z komunikatem MNiSW

z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania w Przeglądzie Budowlanym.