

dr hab. Krystyna Romaniak<sup>1)</sup>  
mgr inż. Anita Pawlak-Jakubowska<sup>2)\*)</sup>

# Ruchome dachy z panelami sztywnymi

## – budowa i technologia wykonania

### *Retractable roof with rigid panel – structure and technology*

DOI: 10.15199/33.2015.05.19

(Artykuł przeglądowy)

**Streszczenie.** Artykuł poświęcony jest zagadnieniom ruchomych przekryć dachowych, w których przemieszczeniu poddane są sztywne panele dachowe. Podczas ruchu nie zmieniają one geometrii, a ich przesunięcie odbywa się za pomocą mechanizmów jezdnych. Przedstawiono budowę i technologię dachów ruchomych, ze szczególnym uwzględnieniem ich struktury i materiału. Dodatkowo omówiono stosowane metody napędu oraz ich elementy składowe.

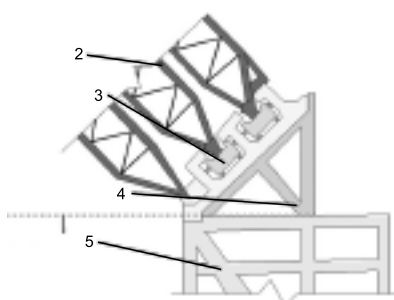
**Słowa kluczowe:** panel dachowy, mechanizm napędowy przekrycia ruchomego.

**Abstract.** The article is devoted to issues of retractable roofs, where movement of the subject are rigid roof panels. During the movement, they do not change geometry and their transfer takes place using the driving mechanism. The study contains technology of roof panels with special emphasis on their structure and material. Additionally, the drive methods discussed, the components and structure of the drive mechanism.

**Keywords:** roof panel, driving mechanism of the retractable roof.

**P**odobnie jak w przypadku zadaszeń nieruchomych, obiekty z przekryciem ruchowym w pozycji zamkniętej tworzą szczelną konstrukcję, spełniającą wymagania nośności, bezpieczeństwa oraz ochrony wnętrza przed opadami atmosferycznymi. Zmiana stanu zamkniętego na otwarty wymaga zastosowania dodatkowych konstrukcji i mechanizmów zapewniających przemieszczenie paneli dachowych lub całego przekrycia. Główny podział ruchomych przekryć można ograniczyć do zadaszeń z panelami sztywnymi (ruchome segmenty dachu są sztywne) oraz zmiennymi (membrany, dachy pneumatyczne, parasole itp.). Zasadnicze elementy tworzące dach ruchomy z panelami sztywnymi przedstawiono na rysunku 1. Wyodrębniono trzy główne części: panele dachowe, mechanizm napędowy, konstrukcję wsporcza. Szczegółową budowę poszczególnych elementów dachów ruchomych należy rozpatrywać indywidualnie w każdym zrealizowanym obiekcie. Są to najczęściej nowe, opatentowane rozwiązania, dopasowane do potrzeb danej inwestycji. Przykład ilustrujący budowę układu napędowego przedstawiono na rysunku 2.

W projektowaniu i realizacjach przekryć ruchomych używane są normy dotyczące dźwignic. Technologia wykonania konstrukcji i zastosowany mechanizm napędowy wiąże się z wyborem odpowiedniego systemu przemieszczenia – obrotu lub prze-



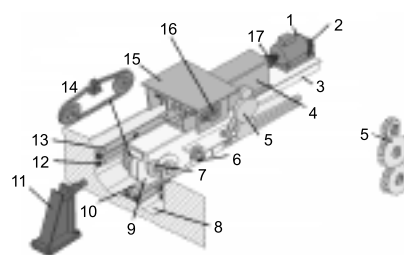
**Rys. 1.** Schemat konstrukcji ruchomego przekrycia z panelami sztywnymi (Fukuoka Dome, Japonia), opracowanie własne na podstawie [1]: 1 – ruchomy dach; 2 – panele dachowe; 3 – mechanizm napędowy; 4 – konstrukcja wsporcza; 5 – dolna struktura

*Fig. 1.* The construction scheme retractable roof of rigid panels (Fukuoka Dome, Japan) own elaboration based on [1]: 1 – retractable roof; 2 – roof panels; 3 – driving mechanism; 4 – supporting structure; 5 – base structure

sunięcia segmentów dachowych, który może być realizowany na szynach lub bezszynowo (tabela). W ruchu na szynach przeciwległe krawędzie (lub odpowiednia krawędź) panelu przemieszczają się po szynach osadzonych w torowisku liniowym lub kołowym. Występuje ruch:

■ **zbieżny** – panele nie nasuwają się na siebie, w chwili zamykania dachu zbiegają się ze sobą (Ariake Colosseum, Japonia – tabela, poz. 2; Amsterdam Arena, Holandia – tabela, poz. 4);

■ **teleskopowy** – segmenty nasuwają się na siebie aż do momentu otwarcia przestrzeni nad obiektem (Ocean Dome, Japonia – tabela, poz. 1; Fukuoka Dome, Japonia – tabela, poz. 3);



**Rys. 2.** Części składowe układu napędowego zastosowanego w Ocean Dome w Japonii, opracowanie własne na podstawie [1]: 1 – silnik; 2 – hamulec; 3 – wózek; 4 – reduktor; 5 – koło zębate przekładni; 6 – koło prowadzące; 7 – wałek i łożysko; 8 – tor jezdny (torowisko); 9 – koło jezdne; 10 – szyna; 11 – zderzak; 12 – śruby mocujące; 13 – podkład pod szynę; 14 – przekładnia łańcuchowa; 15 – rama ruchomego panelu dachowego; 16 – blokada sworzni; 17 – wałek łączący

*Fig. 2.* The components of the driving device used in Ocean Dome in Japan, own elaboration based on [1]: 1 – motor; 2 – brake; 3 – truck; 4 – reduction mech.; 5 – gear; 6 – guide wheel; 7 – shaft and bearing; 8 – running track; 9 – running wheel; 10 – rail; 11 – buffer; 12 – fixing screws; 13 – base under rail; 14 – chain gear; 15 – frame of retractable roof; 16 – lock-pin device; 17 – shaft joint

■ **wirowy** – obrót panelu odbywa się wokół pionowej osi obrotu danego panelu, prostopadłej do płaszczyzny poziomej, przez przemieszczenie go po szynie (Qizhong Forest Sports City Arena, Chiny – tabela, poz. 5).

Ruch bezszynowy dotyczy paneli wykonujących ruch obrotowy wokół osi poziomej, będącej jedną z krawędzi panelu, a jednocześnie miejscem jego połączenia z podstawą (Starlight Theatre, USA – tabela, poz. 6).

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

<sup>2)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

\*) Autor do korespondencji;

e-mail: Anita.Pawlak-Jakubowska@polsl.pl

**System przemieszczenia segmentów w ruchomych dachach z panelami sztywnymi**  
*The displacement system of segments in retractable roofs with rigid panels*

Przesunięcie	na szynach			
	teleskopowe 1		zbieżne 2	
Obrót	na szynach		bezszynowy	
	teleskopowy 3	zbieżny 4	wirowy 5	uchyłny 6

**Panel dachowy.** Najczęściej stosowanym kształtem pojedynczego panelu przy realizowanym systemie przesuwającym jest wycinek walca. W przypadku systemu obrotowego obok fragmentu walca występuje również wycinek sfery. Przesunięcie paneli w tego typu przekryciach realizowane jest głównie metodą na szynach. Występujące obciążenia i siły zewnętrzne mogą powodować różnice w zachowaniu się poszczególnych paneli dachu, będących niezależnymi konstrukcyjnie elementami. Stąd konieczne jest zaprojektowanie między panelami luki oraz stosownego jej uszczelnienia.

Panele dachowe zbudowane są najczęściej z łukowych dźwigarów kratowych o pasach równoległych. W przypadku paneli wykonujących ruch obrotowy, realizując powierzchnię sferyczną lub torusa, pasy zbiegają się w centralnym obrotowym sworzniu (rysunek 3). Sztywność oraz przejęcie obciążeń pochodzących od wiatru i śniegu zapewniają wiązary kratowe oraz stężenia. W przypadku ruchu przesuwającego oba końce głównych dźwigarów są obsługiwane przez wózki jezdne, które przenoszą obciążenia na konstrukcję wsporczą. Podczas obrotu w przekryciach sferycznych lub w kształcie torusa wózek jezdny instaluje się w tzw. kratownicy obwodowej, a gór-

na część panelu dachowego (przy sworzniu obrotowym) jest wykonana jako blachownica (Miller Park, USA [2]). W przypadku powierzchni walcowej wózki jezdne zazwyczaj montuje się na górnym pasie dźwigara kratowego będącego głównym elementem całego zadaszenia, np. dwie megakratownice Brunela zastosowano w przekryciu stadionu Arizona Cardinals.

Jako pokrycie paneli stosuje się lekkie półprzezroczyste tkaniny membranowe PTFE oraz blachy stalowe i aluminiowe.

**Mechanizm napędowy.** W obiektach z przekryciem ruchomym układy napędowe muszą spełniać wymagania norm dotyczących dźwignic. Urządzenia te przemieszczają dach oraz przenoszą obciążenia.

W mechanizmie napędowym można wyróżnić:

- części konstrukcyjne przenoszące masę dachu, a w nich elementy ruchome: wózek, wał, koła oraz elementy statyczne: szyny, podkłady pod szynę;

- części mechaniczne, które nie przenoszą ciężaru ruchomego dachu, takie jak: liny, łańcuchy, przekładnie, bębny (rysunek 2).

Najczęściej stosowanym napędem jest silnik elektryczny. Układy napędowe można pogrupować ze względu na różne sposoby przekazywania ruchu od silnika [1]:

- każde koło napędzane jest przez niezależny silnik;

- panel dachowy połączony jest silnikiem przez przekładnię zębatą;

- koła przemieszczają się po szynach ciągnięte przez linę należącą do przekładni ciągnicowej. W University of Phoenix Stadium, USA, lina nawijana jest na bęben przymocowany do panelu;

- ruch obrotowy paneli uzyskany jest przy użyciu przekładni śrubowej.

Stosowane są dwa główne sposoby zatrzymywania panelu dachowego:

- metoda blokady przy użyciu sworzni;
- metoda zacisku szyny.

**Konstrukcja wsporcza, konstrukcja podstawy i plac budowy.** Konstrukcja wsporcza najczęściej wykonywana jest jako stalowa rama o odpowiedniej sztywności i wytrzymałości. Jej zadaniem jest przeniesienie obciążenia dachu w każdym położeniu paneli. W realizacji konstrukcji podstawy stosuje się żelbet lub stalowe ramy.

Technologia montażu obiektów budowlanych z ruchomym zadaszeniem nie różni się od technologii stosowanych w przypadku obiektów z nieruchomym dachem. Zazwyczaj na poziomie gruntu główne dźwigary łukowe i drugorzędne dźwigary zostają zmontowane i połączone, tworząc sztywną konstrukcję. Kolejnym etapem jest podniesienie ich za pomocą podnośników hydraulicznych, wciągarek lub żurawi budowlanych, a następnie połączenie z konstrukcją podstawy.

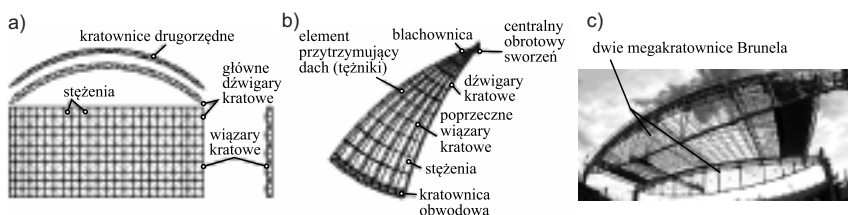
\*\*\*

Problematyka dotycząca ruchomych przekryć jest niezwykle obszerna i zróżnicowana. W artykule dokonano próby klasyfikacji przekryć ruchomych z panelami sztywnymi ze względu na ich budowę i technologię wykonania. Zaprezentowaną systematykę opracowano na podstawie analizy największych obiektów z ruchomymi dachami, jakimi są stadiony sportowe.

**Literatura**

[1] Ishii K.: Structural Design of Retractable Roof Structures. WIT Press, Southampton, Boston (2000).  
 [2] Abruzzo J., DeScenza R., Pinto Ch.: New pivot bearings for Miller Park's moveable roof hit a home run with the park's owners and the team's fans. Modern Steel Construction, (maj 2004).  
 [3] Waggoner M. C., Wright D. P.: A team effort by a structural engineer and a steel fabricator resulted in a dynamic roof structure for the Arizona Cardinals. Modern Steel Construction, (sierpień 2006).

Otrzymano 10.01.2015 r.



**Rys. 3. Zarys struktury segmentów dachowych w zależności od realizowanego ruchu: przesunięcie: a) kształt walcowy Ocean Dome, Japonia [1]; obrót: b) kształt sferyczny Yokote Dome Theater, Japonia [1]; c) kształt walcowy Cardinals Stadium, USA [3]**

*Fig. 3. The structure of the roof segments depending on the realized movement: sliding a) cylindrical shape Ocean Dome, Japan [1]; rotating: b) spherical shape Yokote Dome Theater, Japan [1]; c) cylindrical shape Cardinals Stadium, USA [3]*