

Tomasz Kwiatkowski¹, Maksymilian Patrzykowski¹

NOWOCZESNE PRZEKRYCIA Z DACHOWYCH TKANIN MEMBRANOWYCH

Wprowadzenie

Budownictwo jest obszarem, w którym cały czas poszukuje się nowoczesnych rozwiązań. Przykłady wykonanych obiektów warto prześledzić w budownictwie polskim, jak też światowym. Wniosek, jaki się nasuwa, wyraża, że budowane konstrukcje stają się coraz bardziej zaawansowane technologicznie oraz lżejsze. Podczas konferencji na temat: „Konstrukcje Lekkie w Inżynierii Lądowej” (skrót ang. LSCE) Komitet Naukowy w 1995 r. zaproponował następującą definicję:

„Konstrukcje lekkie należą do obiektów budowlanych wzniesionych przez ludzi, które wyróżniają się w porównaniu do podobnych, wybudowanych poprzednio, stosunkowo małą ilością wbudowanego materiału i zapewniają jednocześnie ekstremalnie wysokie parametry eksploatacyjne: duże rozpiętości dachów lub mostów bez stosowania podpór pośrednich, wysokość budynku, masztu lub wieży, ekstremalnie duże swobodne powierzchnie lub objętości użytkowe hal, zbiorników i rezerwuarów”.

Budownictwo współczesne wykorzystuje praktycznie wszystkie znane i dostępne materiały tradycyjne i nowoczesne, jednak użyte tylko niekonwencjonalnie. Dzięki temu niejednokrotnie można osiągnąć ponadprzeciętne parametry budowanej konstrukcji. Pozwala na to zastosowanie lekkich, bardzo wytrzymałych materiałów w połączeniu z nowymi schematami konstrukcyjnymi. W konsekwencji uzyskuje się większą geometrię (wysokość oraz szerokość) budynków, masztów oraz wież. Liczne badania wykazały, że ciężar własny nie jest korzystny dla konstrukcji.

Lekki dach, strop, ściany oraz ścianki działowe i tymczasowe prowadzą do wykonania lżejszych elementów wsporczych konstrukcji, takich jak: fundamenty, słupy czy ściany nośne. Efektem takich rozwiązań jest wbudowanie mniejszej ilości materiału, montaż z zastosowaniem lżejszych dźwigów czy nawet przy lżejszych elementach montaż ręczny, skrócony czas pracy i względy ekonomiczne [1-4].

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-200 Częstochowa, e-mail: tkwiatkowski@bud.pcz.czyst.pl

1. Charakterystyka konstrukcji wykorzystujących membrany dachowe

Głównymi materiałami konstrukcyjnymi stosowanymi do konfigurowania zadań z membran są: stalowe liny napinające i podtrzymujące membranę dachową oraz same membrany, czyli tkaniny techniczne. Rodzaje tkanin membranowych wykorzystywanych do budowy tego typu konstrukcji dachowych [5, 6]:

- PVC - tworzywo wykonane z siatek poliestrowych jako materiału podstawowego, które zostały pokryte płynną warstwą polichlorku winylu (PVC). Wytrzymałość tkaninie gwarantuje konstrukcja siatki. Wielokrotna warstwa polichlorku winylu chroni przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych.
- PVDF - materiał zbliżony budową do PVC, posiadający warstwę wspomagającą w postaci lakieru z polifluorku winylidenu (PVDF), gwarantującą dużą odporność na promieniowanie UV oraz czynniki chemiczne. Powierzchnia tworzywa zabezpieczona jest również przed przywieraniem brudu. Materiałem bazowym PVDF jest włókno szklane, co powoduje, że PVDF posiada większą wytrzymałość w porównaniu z PCV.
- PTFE - posiada najtrwalszą konstrukcję. Politetrafluoroetylen (teflon) wykorzystywany w tej konstrukcji powoduje najwyższe parametry wytrzymałościowe. Wysoka odporność chemiczna jest równie istotną cechą PTFE. Praktycznie tylko silnie stężone kwasy są w stanie zniszczyć strukturę PTFE. Ma on również własności samoczyszczące.

Zalety przekryć z tkanin membranowych [3, 4, 7]

Wytrzymałość to podstawowa cecha tego materiału. Trwałość tkaniny wynosi od kilku do kilkudziesięciu lat, podczas tego okresu narażona jest ona na intensywne naprężenia. Najlepszym tego przykładem są materiały z włóknem szklanym, pełniącym funkcję rdzenia pokrytego warstwą teflonu, cechujące się najlepszą odpornością na rozrywanie oraz rozciąganie.

Niepalność - wymaga się od tkanin technicznych parametrów spełniających warunki niepalności, co jest potwierdzone certyfikatami nadanymi przez stosowne instytucje budowlane.

Elastyczność - nowoczesne struktury przekryć są możliwe do wykonania dzięki formowalności materiałów, z których są stworzone. Wielokrotnie są wyposażone w elementy ruchome, które umożliwiają składanie i rozkładanie dachu w zależności od panujących warunków atmosferycznych, co podwyższa atrakcyjność i funkcjonalność dachu.

Zabezpieczenie przed działaniem szkodliwych czynników klimatycznych - wchłanianie cieczy, działanie promieniowania UV i czynników chemicznych oraz ochrona przed pleśnią ogranicza specjalna konstrukcja tkaniny membranowej.

Właściwości samoczyszczące - specjalna powłoka samoczyszcząca zabezpiecza powierzchnie dachu przed przywieraniem zanieczyszczeń, dlatego za każdym razem podczas opadu deszczu powłoka jest spłukiwana oraz utrzymywana w czystości.

Estetyka - atrakcyjny oraz nowoczesny wygląd nadaje obiektom możliwość kształtowania oraz formowania tkanin membranowych prawie w dowolnej konfiguracji.

Stabilność wymiarowa - wpływ czynników atmosferycznych oraz fizycznych powoduje, że materiał „pracuje”, czyli zmienia swój kształt w pewnym stopniu. Tkaniny membranowe charakteryzuje maksymalna niezmiennosc wymiarowa, konieczna do utrzymania stałej postaci membrany przez długi czas.

2. Tkaniny techniczne - etapy projektowania konstrukcji

Kształtowanie wstępne

Na początku przygotowywania projektu konstrukcji z tkanin membranowych jest wymagane wskazanie napiętej konfiguracji równowagi obiektu na podstawie kształtu przekrycia zamieszczonego w projekcie architektonicznym. Konfiguracja taka jest wymagana ze względu na stabilność nieliniowego procesu obliczeń. Proste kształty (np. walec dla przekryć pneumatycznych czy paraboloida hiperboliczna) przyjmują taką konfigurację, przy doborze odpowiednich wartości początkowych napięć. Zadaszenia złożone lub pracujące wraz z linami wymagają wykorzystania techniki równowagi napięć (np. poprzez zastosowanie techniki modelowania matematycznego, techniki zmiany właściwości fizycznych czy techniki zmiany podpór).

Ustalanie napięcia wstępnego

Odpowiednie napięcie wstępne tkaniny powinno zostać dobrane w taki sposób, aby z jednej strony gwarantowało parametry nośne przekrycia (napięcie powinno być nie za małe), a z drugiej strony, by obciążenie zewnętrzne (np. obciążenie klimatyczne) nie doprowadziło do przekroczenia wartości dopuszczalnych w tkaninie. Nieodpowiedni stosunek naprężenia osnowy i nici wątku również może doprowadzić do pofałdowania się przekrycia. Niewłaściwy dobór napięcia początkowego lub oddziaływanie czynników zewnętrznych powoduje powstanie większości uszkodzeń tkanin technicznych. Częstym efektem tego rodzaju błędów w napięciu jest powstawanie miejsc gromadzących wodę lub śnieg. Występowanie takich powierzchni szybko się powiększa oraz pogłębia (wzrost obciążenia lokalnego), czego następstwem jest zniszczenie oraz rozerwanie się tkaniny w tym miejscu. Niewłaściwa jakość tkaniny, zamieszczanie na obrzeżach dachu elementów powstrzymujących zsuwanie się śniegu czy zbyt małe pochylenie połaci dachowej to przykłady czynników powodujących powstawanie miejsc gromadzących wodę lub śnieg.

Obciążenia wiatrem i śniegiem

Najważniejsze rodzaje obciążeń przekryć z tkanin membranowych dla przekryć niesezonowych to obciążenie wiatrem i śniegiem. W przypadku przekryć o kształ-

cie złożonym normy nie umożliwiają określenia tych obciążeń. Podczas tworzenia dużych przekryć projektant posługuje się rezultatami analiz modeli w tunelach aerodynamicznych (rys. 1). Można również odnosić się do informacji umieszczonych w normach do budowy obciążeń modeli numerycznych. Głównie odnosi się to do obciążenia od wiatru. Nachylenie pojedynczych części przekrycia wpływa na to, że obciążenie będzie zmienne na całej konstrukcji. Zmienność będzie również występowała, podczas gdy przemieszczenia przekrycia będą duże. Wartości umieszczone w normach umożliwiają ustalenie wartości obciążenia w stosunku do nachylenia. W zależności od rodzaju przekrycia podczas tworzenia takiej funkcji można wykorzystać schematy obciążenia wiat jednopółaciowych, powłok walcowych lub sferycznych. Oprócz wyliczeń statycznych wymagana jest również analiza dynamiczna.



Rys. 1. Badanie modelu amfiteatru w tunelu aerodynamicznym [1]

Wpływy reologiczne

Podczas analizy długookresowej eksploatacji przekrycia powinny zostać uwzględnione wpływy reologiczne. Pod wpływem obciążenia od śniegu oraz początkowego napięcia tkaniny uwzględnia się w przypadku oceny długookresowej zależności lepko sprężyste. Wyliczenia w głównej mierze mają na celu wyeliminowanie zmniejszenia się sił pierwotnego napięcia oraz wygenerowania się konfiguracji, w której możliwe byłoby na powierzchni przekrycia zbieranie się opadów deszczu lub śniegu. Tego typu sytuacje doprowadzają do zniszczenia membrany (przedarcie tkaniny) [3].

Ustalanie wykrojów tkaniny

Tym etapem przedsięwzięcia zajmują się zazwyczaj firmy wykonawcze wyspecjalizowane w wykonywaniu pożądaných wykrojów przekrycia. Od możliwości wykonawczych firm, technologii łączenia brytów, szerokości brytu tkaniny itp. zależy uzyskanie prawidłowego wykroju przekrycia. W tym celu wykorzystuje się specjalistyczne oprogramowanie, ponieważ podczas dobierania kształtu oraz formy przekryć należy uwzględnić również efekty reologiczne oraz siły wstępnego napięcia [1, 3, 4, 8].

3. Przykłady realizacji konstrukcji membranowych

Kopuła Tysiąclecia (ang. Millennium Dome) wybudowana w Greenwich koło Londynu jest największą konstrukcją na świecie, posiadającą strukturę dachu wykonanego z tkaniny membranowej (rys. 2). Obwód dachu wynosi ponad jeden kilometr, natomiast powierzchnia przekrycia to 80 000 m².



Rys. 2. Kopuła Tysiąclecia (ang. Millennium Dome) [9]

Interesujące budowle wykorzystujące przekrycia z tkanin technicznych występują również w Polsce. Przykładem takiego rozwiązania może być przekrycie dachu Opery Leśnej w Sopocie. Wykonana w 1909 r. Opera Leśna po latach eksploatacji przeszła gruntowną przebudowę (rys. 3). W efekcie powstał dach o powierzchni 3600 m², a wysokość w najwyższym punkcie konstrukcji od poziomu posadzki wynosi 32 m. Około 4 ton waży sama membrana, a ciężar konstrukcji stalowej dachu wynosi 950 ton [10].



Rys. 3. Widok dachu Opery Leśnej w Sopocie [11]

Innym interesującym przykładem jest zadaszenie Teatru Letniego w Szczecinie. Wybudowany w 1960 r. przez Towarzystwo Przyjaciół Szczecina miał przypominać gabarytami Operę Leśną w Sopocie. Poza zabezpieczeniem przed warunkami atmosferycznymi głównym celem zaprojektowanej konstrukcji zadaszenia nad sceną oraz widownią jest zwiększenie akustyki naturalnej dla występów orkiestrowych. Efekt ten uzyskano dzięki wykorzystaniu paneli akustycznych oraz membrany w formie poduszek pneumatycznych (rys. 4).



Rys. 4. Zadaszenie sceny Teatru Letniego w Szczecinie [12]

Obiektem współczesnego budownictwa wykorzystującym przekrycia z tkanin technicznych jest Stadion Narodowy w Warszawie (rys. 5). Materiałem, z jakiego została wykonana membrana, jest PTFE, czyli włókno szklane pokryte warstwą teflonu odpornego na zagniecenia oraz oddziaływania czynników atmosferycznych (nośność 70 cm śniegu suchego oraz 18 cm mokrego). Całkowita waga lin podtrzymujących strukturę dachu to 1200 ton.



Rys. 5. Widok na dach Stadionu Narodowego w Warszawie [13]

Podsumowanie

Tkaniny membranowe są bardzo dobrą alternatywą w porównaniu do tradycyjnych pokryć dachowych stosowanych w budownictwie. Stwarzają duże możliwości swobodnego kształtowania ich formy architektonicznej. Konstrukcje z wykorzystaniem tego rodzaju materiału są nie tylko bardzo efektowne, ale i efektywne, co zaprezentowano na licznych przykładach.

Literatura

- [1] Kowal A., Membranowo-linowa konstrukcja amfiteatru Kadzielnia, Kielce, lipiec 2014.
- [2] Ambroziak A., Geometrycznie nieliniowa analiza membran stosowanych do konstrukcji przekryć wiszących z uwzględnieniem różnych typów związków konstytutywnych, Gdańsk 2006.
- [3] Kłosowski P., Projektowanie przekryć z tkanin technicznych, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2016.

- [4] Kłosowski P., Ambroziak A., O projektowaniu konstrukcji membranowych, Inżynieria i Budownictwo 2008, 8.
- [5] Brych M., Realizacja celów humanitarnych dzięki nowym rozwiązaniom technologicznym, Zeszyt 18, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010.
- [6] Frei O., Dachy wiszące: forma i konstrukcja, Arkady, Warszawa 1959.
- [7] Tkaniny techniczne, Tuplex - tworzywa sztuczne, 2016.
- [8] Kowal A., Wybrane zagadnienia projektowania i realizacji konstrukcji membranowych, Przegląd Budowlany 2012, 5.
- [9] <http://encyklopediaksiazek.cba.pl> [odczyt 16.10.2016 r.].
- [10] Burakowska W., Stalowa konstrukcja z motylim dachem, Inżynier Budownictwa 2014.
- [11] <http://operalesna.sopot.pl> [odczyt 16.10.2016 r.].
- [12] <http://www.architektura.info> [odczyt 16.10.2016 r.].
- [13] http://www.muratorplus.pl/technika/dachy/warszawa-dach-stadionu-narodowego_70386.html?c=4&page=0 [odczyt 16.10.2016 r.].

Streszczenie

W pracy omówiono zalety stosowania nowoczesnych tkanin technicznych, do których należą przekrycia membranowe. Przedstawiono charakterystykę konstrukcji, gdzie wykorzystywano tego typu tkaniny. Podano liczne przykłady wykorzystania tkanin membranowych w Polsce i na świecie.

Słowa kluczowe: przekrycia membranowe, konstrukcje membranowe, przekrycia tekstylne

Modern roof covering with roofing fabric membrane

Abstract

The paper presents the advantages of using modern technical fabrics which include roof covering membrane. The characteristic design where the use of are the types of fabric. Presents numerous examples of taknin membrane in Poland and in the world.

Keywords: membrane covers, membrane structures, textile coverings