

Construção de almofadas de membranas

Resumo As almofadas de membranas compostas por finas películas de ETFE e pneumáticamente pressurizadas são utilizadas como revestimento na construção de tectos e de fachadas. Através da almofada de ar existente entre as camadas consegue-se boas propriedades de isolamento térmico. Devido ao peso extremamente diminuto e à elevada resistência do material, consegue-se cobrir amplas áreas e inundar de luz grandes superfícies com os mais variados contornos. Para tal são apresentadas estruturas optimizadas para o efeito.

Foil cushions: shell of buildings!

Abstract

Foil cushions - pneumatically prestressed thin membrane structures made of ETFE – are used in buildings as claddings with thermal properties. Due to the air buffer between various layers, foil cushions achieve very satisfying insulation properties and are used as wall or roof cover. In comparison to structural glazing, foil cushions allow larger spans in almost any shape and large transparent areas. To take advantage of the unique properties of ETFE foil claddings, examples of special and highly optimized structures are presented.

1 Introdução

Através do trabalho levado a cabo por Frei Otto e a construção do estádio olímpico de Munique, teve início na Alemanha a base para as construções com membranas, o que levou a um desenvolvimento cujo fim ainda hoje não está à vista. Veio afirmar o princípio da curvatura oposta (modo de construção anticlástico), para que as membranas possam oferecer uma polarização e forma distintas. Os revestimentos numa só camada e em têxtil servem de protecção contra o vento e contra as condições climáticas e são normalmente polarizados por meio mecânico.

No início dos anos 80 começaram-se a utilizar membranas em forma de almofada fabricadas a partir de películas de ETFE e a serem estabilizadas por meio pneumático (marca Sistema Texlon®).

Aqui não se trata de membranas em camadas únicas, mas de almofadas com duas até cinco camadas que, a par da sua função de protecção contra as condições meteorológicas, apresentam ainda boas propriedades de isolamento térmico, sendo usadas como revestimento na construção. O material ETFE de base espatoflúor (etileno tetrafluoretileno) adequa-se a este fim de modo ideal.

Nos últimos 30 anos, por todo o mundo, têm sido efectuadas diversas construções, marcantes e arquitectónicas, com revestimentos de almofadas de ETFE.

2 O material ETFE

ETFE é caracterizado pelas seguintes propriedades:

- resistência >50 N/mm²
- alongamento de ruptura >350% de acordo com o DIN EN ISO 527-1
- resistência ao rasgo superior (>400 N/mm de acordo com o DIN 53363)
- resistência ao gelo até -160°C
- elevada penetração de luz incluindo radiação solar (UV)
- estável e resistência ao envelhecimento causado por raios UV
- superfícies anti-aderentes e deslizantes (auto-limpeza)
- resistência ao granizo em conformidade com o SIA V280 e EN 13583
- módulo de elasticidade de cerca de 700 N/mm²
- classe de incêndio B1, irrigação não combustível até 250°C
- soldável

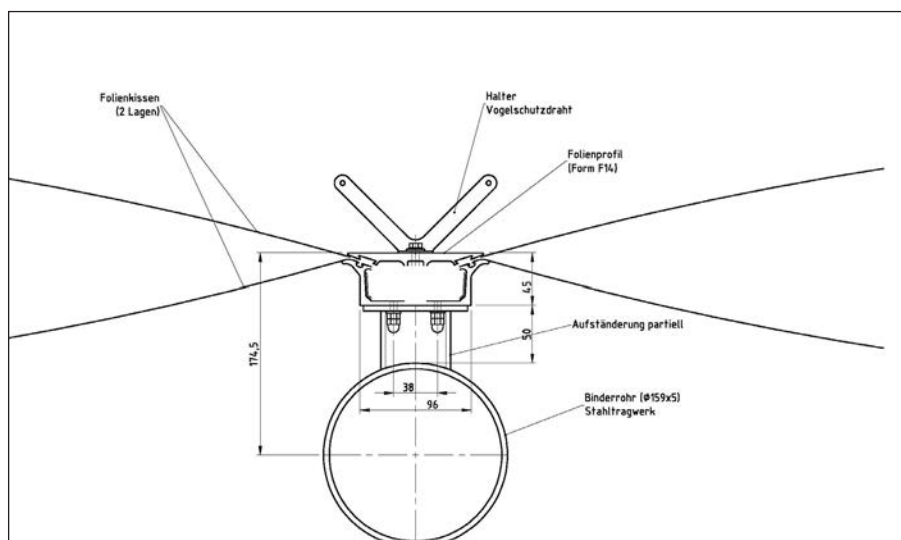


Figura 1.

Dr.-Ing. Stefan Lehnert

Director General Vector Foiltec GmbH
Steinacker 3, 28717 Bremen
de@vector-foiltec.com

Dr.-Ing. Tobias Schween

Ingenieurgesellschaft Thor – Schipper – Schween
Neuer Markt 4, 49393 Lohne
info@tss-ingenieure.de

As membranas de fluoroplástico são utilizadas há mais de 30 anos em testes de exposição a intempéries naturais e artificiais e até ao momento actual não sofreram qualquer alteração significativa. Nos testes são especialmente tidas em conta uma elevada radiação solar e uma extraordinariamente elevada poluição do ar. Consequentemente, não é expectável uma deterioração do material da membrana causada por impacto ambiental. O próprio material é transparente aos raios UV e resistente aos raios UV sem precisar de aditivos químicos. Os produtos de ETFE são re-utilizáveis e devem



Figura 2. DomAquaree - Berlin, DE



Figura 3. Kensington Academy - Liverpool, GB

O cálculo destas almofadas baseia-se na teoria das membranas. As almofadas alongadas planas a partir de uma relação de aspecto comprimento/largura aproximadamente > 2 desviam-se principalmente sobre a amplitude curta e podem ser dimensionadas, em casos especiais, através de um cálculo bi-dimensional. De um modo geral, são obrigatórias as perspectivas a três dimensões nos termos do método FE, para registar de modo suficientemente preciso o comportamento das almofadas.

Fabricadas com um baixo ponto de início, as membranas expandem-se para a sua forma de base, utilizando uma pressão interna de, por exemplo, 200 Pa (sistema de baixa pressão).

ser colocados novamente no processo de produção após o término da sua utilização. Os sistemas de membranas Textlon® revelaram-se ser auto-limpantes por força das suas superfícies anti-aderentes, tanto as impurezas difíceis como os dejectos de aves são lavados pela chuva. medioambientales. El material es transparente a los rayos UV y también resistente a la radiación UV sin aditivos añadidos al material. Los productos hechos de ETFE son reciclables y son introducidos de nuevo en la cadena de fabricación al final de su vida útil. Los sistemas de láminas Textlon® son auto-limpiables debido a su superficie antiadherente. Incluso altas materias contaminantes como excrementos de aves, son eliminadas con agua de lluvia.

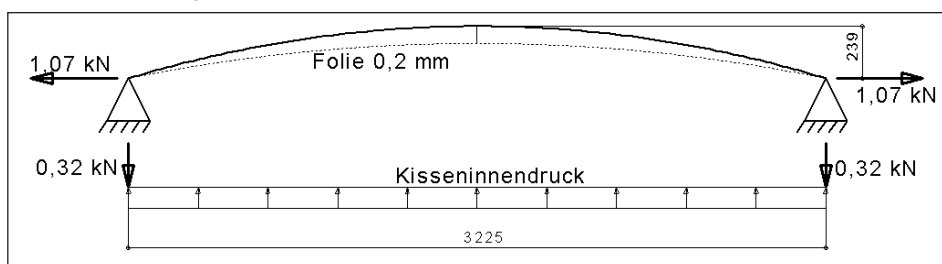


Imagen 4.

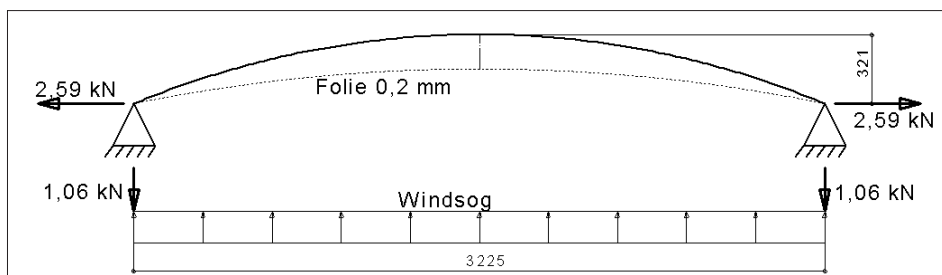


Figura 5.

3 Tecnologia

A polarização pneumática com um sistema de ar a baixa pressão impede batimentos ou vibração das membranas e confere às almofadas uma forma estável.

As almofadas são incorporadas de modo rotativo sobre uma tubulação num perfil de liga metálica leve. Este perfil – aparafusado a uma construção primária – fornece uma estrutura onde as almofadas são esticadas.

A modelagem destas almofadas é quase arbitrária, como mostram, por exemplo, as formas de base triangular e em losangos nos tectos curvos da Dom Aquaree (figura 2) ou as almofadas curvas sobre os beirais da Kensington Academy (figura 3). As almofadas são soldadas termicamente sobre carris. As membranas utilizadas tem uma espessura entre 100 µm até 250 µm.

O esforço de cargas momentâneas faz com que uma membrana continue a estar sob carga, enquanto que a membrana do lado oposto fica aliviada do peso - análogo a uma ligadura em oito de cordas polarizadas. No caso de a acção externa exceder o valor da polarização pneumática em cerca do dobro, carrega apenas uma membrana que tenha sido dimensionada para esse efeito.

Perante impactos emergentes lentos, como por exemplo a neve, deve-se ter por base que o ar sai lentamente das almofadas, quando a carga excede a pressão interna (sem sistema fechado). Ambas as membranas ficam alinhadas e participam no suporte da carga. Consoante a geometria e a inclinação das almofadas, se possível, deve ser tida em consideração a acumulação de água da neve ou da chuva. A acumulação de água, de neve ou grandes cargas de vento (por exemplo, picos de sucção nas esquinas dos edifícios por efeito do vento), podem tornar obrigatório o apoio das

membranas ETFE através da utilização de cabos de aço finos no caso de um desvio maior.

Pode ocorrer a acumulação de água, quando a neve derrete e quando a chuva traz ainda mais água. Perante o mal funcionamento „Falha na pressão interna das almofadas” existe também a possibilidade de concentração da água das chuvas nas almofadas despressurizadas. A acumulação de água é uma condição a curto prazo, temporária, mediante a consideração adequada da sua dimensão. Com um processo de pressurização activo, a forma das almofadas é restabelecida e a água é drenada. Recomenda-se, no entanto, inclinar as almofadas alguns graus. Deste modo, a acumulação de águas é evitada ou significativamente reduzida.

A drenagem forçada das águas nas almofadas deve ser efectuada também por partes. Porém, não é desejável que seja efectuada em compartimentos fechados e a fiabilidade das almofadas será provavelmente afectada pela folhagem, gelo ou por outros materiais sólidos.

As ligações dos desempenhos não lineares das almofadas são mostradas como exemplo nos pátios interiores dos edifícios em Sandtorkai em Hamburgo (figura 4 + 5). Com um ponto crescente, a capacidade de carga aumenta proporcionalmente. As forças de tracção envolventes decrescem proporcionalmente.

Os perfis de montagem e a estrutura primária subjacente devem ser medidos a partir das almofadas e das cordas (de acordo com a geometria das resultantes forças de direcção envolventes) na direcção vertical para as acções extremas do eixo das almofadas e paralelamente para as forças de ancoragem actuantes do eixo das almofadas. Assim, surgem de imediato as forças de tracção envolventes através da pressão interna; que são ainda aumentadas pelas cargas exteriores. Muitas vezes, as forças das almofadas adjacentes ficam em equilíbrio, de modo a que normalmente apenas as estruturas das áreas marginais possam receber totalmente as forças de tracção para além das cargas externas.

Tendo em consideração a estabilidade, também deve ser avaliado o funcionamento defeituoso, quando uma ou mais almofadas se encontram despressurizadas (por

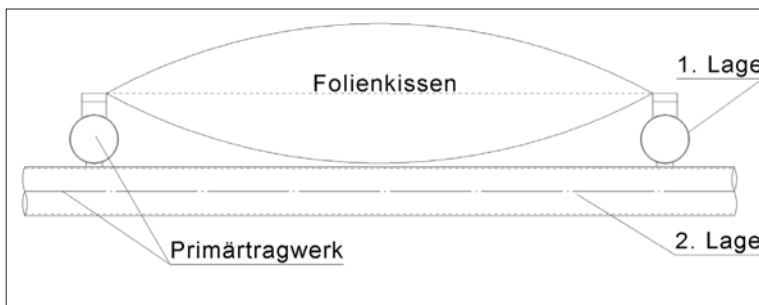


Figura 6.

exemplo, no caso de danos nas almofadas provocados por um furacão). Este cenário deve também levar a uma avaliação da estrutura primária. Devido à elevada rigidez e solidez do material, bem como as reservas dos sistemas de suporte em membrana (ponto alargado produz uma maior capacidade de apoio), geralmente a resistência da estrutura primária revela-se decisiva para a estabilidade do edifício.

No caso de requisitos específicos em relação ao revestimento, também poderá ser útil a escolha de um sistema de alta pressão em que é impedido o colapso das almofadas devido a cargas, mediante uma considerável pressurização pneumática. No entanto, este sistema normalmente requer um emprego de materiais mais elevados, custos de funcionamento mais elevados e requisitos mais exigentes de gestão e de densidade.

De qualquer modo, o funcionamento defeituoso acima descrito deve ficar controlado deste modo.

4 Construção Optimizada

Para a espessura das almofadas actualmente em processo de preparação, é possível uma largura das almofadas - independentemente da situação e do efeito - de cerca de 4,9 m sem qualquer reforço adicional das cordas. O comprimento das almofadas não se encontra por isso limitado.

Para tal, são construídas curvaturas, torções e arcos nas almofadas (ao contrário do vidro) sem qualquer problema. As curvaturas são construídas a partir de bases geométricas até terem uma determinada medida útil, mas sem qualquer importância na prática construtiva. Almofadas quadradas, com vários cantos ou redondas com uma distribuição de



Figura 7. Media-TIC en Barcelona, ES



Figura 8. Media-TIC en Barcelona, ES



Figura 9. ZOOM Erlebniswelt en Gelsenkirchen, DE

carga em dois eixos, permitem naturalmente também uma maior amplitude. Também aqui será útil uma disposição pelo menos inclinada das almofadas.

A concepção da estrutura deve ser ajustada em conformidade. Uma vez que as almofadas também possuem na uma certa expansão na direcção da espessura, elas oferecem muitas vezes o conceito de suportes cruzados em duas posições.

Em virtude de os perfis não se interpenetrarem, as ligações são mais facilmente efectuadas. As forças de tracção excêntricas a partir das almofadas não são muitas vezes decisivas para a dimensão das ligações. Através da suavidade das almofadas e da gestão flexível da junção de solda, as almofadas podem ser personalizadas nas mais diversas formas e permitem uma ampla margem de design criativo. Mesmo na montagem em suaves estruturas subjacentes ou directamente fixadas às cordas, as almofadas permitem a concepção de revestimentos de edifícios duráveis e densos.

5 Exemplos

Media-TIC en Barcelona, ES (figuras 7 + 8)

Superfície coberta: 2.304 m²
Ano de construção: 2009
Estrutura primária em aço

ZOOM Erlebniswelt en Gelsenkirchen, DE (figura 9)

Superfície coberta: 4.600 m²
Ano de construção: 2009
Estrutura primária em aço

Floating Pavilion en Rotterdam, NL (figura 10)

Superfície construída: 1.330 m²
Año de construcción: 2010
Estructura primaria: acero

Pode encontrar mais exemplos em [1] e [2].

6 Campos de aplicação

Os sistemas de membranas Texlon® são utilizados principalmente em tectos e fachadas transparentes de imóveis exigentes a nível arquitectónico. Devido à permeabilidade da luz ultravioleta, a sua aplicação é comum como revestimento de piscinas e centros aquáticos, bem como em jardins zoológicos e botânicos.

Através da impressão ou coloração das almofadas é possível controlar a entrada de luz. No caso de existirem diversas membranas por almofada e impressão alternada, é possível influenciar uma infiltração direccionada através de um controlo pneumático, bem como efectuar alterações temporárias.

Vantagens em relação à tecnologia de construção em vidro

- menor peso do sistema (particularmente vantajoso na construção em estruturas pré-existentes)
- maior amplitude = superfícies mais transparentes/translúcidas
- livre modelação em 3D
- insensível à deformação, por isso é idealmente adequado para estruturas cinemáticas de cordas
- possibilidade de coloração livre e de detalhada impressão gráfica
- menor esforço de limpeza
- elevada penetração da luz solar (UV)
- muito boa acústica do local com pouco tempo de reverberação
- estruturas primárias mais leves e mais ricas em variantes

Desvantagens

- solamento sonoro muito escasso
- manutenção do fornecimento de pressão de ar

São atingidos valores U entre os 2,94 W/m²K em almofadas de duas camadas até 1,18 W/m²K em almofadas de 5 camadas. As membranas unicolores translúcidas (efeito copo de leite) adequam-se especialmente bem às arquitecturas luminosas modernas até mesmo às fachadas de comunicação LED (Texlon® flexipix). As características de isolamento térmico dos perfis de fixação foram entretanto bastante melhoradas.

7 Resumo

As almofadas de membranas da ETFE são utilizadas há quase 30 anos com êxito como revestimentos no isolamento térmico de edifícios. Permitem grandes superfícies transparentes ou translúcidas com um grau extremamente baixo de sombra através de quadros e estruturas.

Devido à flexibilidade das almofadas e da orientação variável das juntas de solda, a modelação das almofadas quase não tem limites. Óptimas são as almofadas longas, inclinadas pelo menos transversalmente e ao comprido, com uma largura de cerca de 4 m e uma construção subjacente otimizada para o efeito. Com este conceito, é possível criar revestimentos de edifícios muito económicos e inundados por luz, com a mais elevada expressividade arquitectónica em construções de longa durabilidade comprovada.

8 Bibliografia

- [1] Lehnert, S., Schween, T.: Bauen mit Folienkissen, Der Bauingenieur 81 (2006) S. 285 - 288
 [2] Schween, T., Lehnert, S.: Dach- und Wandgestaltung mit pneumatisch vorgespannten Kissen aus ETFE, VDI-Berichte Nr. 1970 (2007) S. 129 - 1

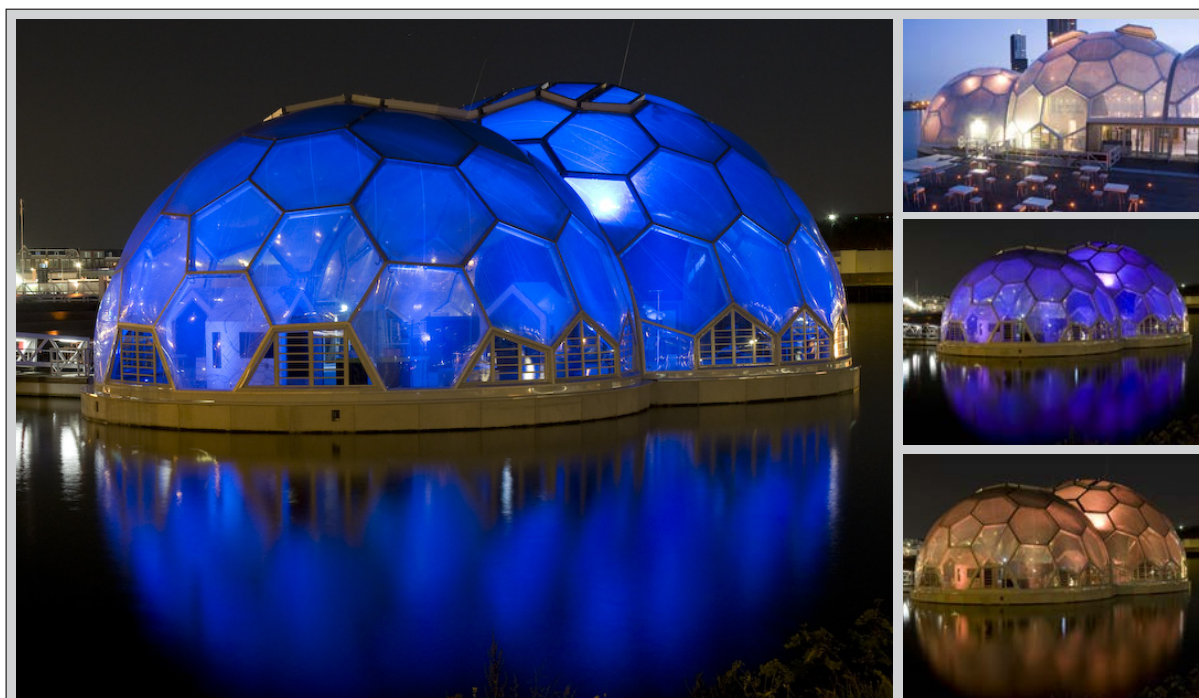


Figura 10. Floating Pavilion en Rotterdam, NL