

Desempenho a Longo Prazo dos Produtos de Isolamento Térmico em Poliestireno Extrudido

Holger Merkel¹

SUMÁRIO

Uma das exigências básicas da European Construction Products Directive (CPD) é a durabilidade dos produtos. Tal requisito encontra-se estreitamente ligado à sustentabilidade dos edifícios e ao seu consumo energético. Assim, os produtos de isolamento térmico têm de dar provas de serem duráveis até ao fim da sua vida útil.

O documento apresenta formas de abordar este tema complexo, utilizando o exemplo da espuma XPS de poliestireno extrudido de fabrico industrial, em conformidade com a norma EN 13164.

O isolamento em XPS é aplicado nas mais diversas edificações, que estão sujeitas a diferentes cargas combinadas, tais como impactos mecânicos, humidade e calor.

Foram particularmente estudadas a durabilidade higrotérmica e mecânica dos produtos em XPS. Tanto os resultados laboratoriais como os resultados práticos serão apresentados de forma ordenada de modo a possibilitar a correlação entre os testes de durabilidade de curto prazo e o desempenho prático dos produtos.

A aplicação de produtos de isolamento sob carga constante é um outro tópico que será abordado neste documento. A durabilidade dos produtos de isolamento face à degradação mecânica quando sujeitos a cargas de longo prazo é caracterizada pelo seu desempenho de deformação (EN 13164 Anexo ZA). O método em conformidade com a EN 1606 e os resultados das medições do desempenho de deformação para os produtos XPS serão apresentados e discutidos.

PALAVRAS-CHAVE

Isolamento térmico, espuma de poliestireno extrudido, deformação, humidade

¹ Dow Deutschland Anlagenges.mmbH, 65824 Schwalbach, Alemanha, Telefone +49 6196 566 158, Fax +49 6196 566 426, hmerkel@dow.com

1. INTRODUÇÃO

Uma das exigências básicas da European Construction Products Directive (CPD) é a durabilidade dos produtos.

A Durabilidade é definida como *a capacidade de um produto em manter o desempenho esperado, durante um dado ou longo tempo, sob a influência de acções previsíveis, sujeito a uma manutenção normal [EC 2004].*

Para comprovar a sua conformidade com a CPD, um produto colocado no mercado deverá possuir a marcação CE. A marcação CE para além de atestar que um produto obedece às especificações técnicas aplicáveis (hENs, ETAs), obriga a que o fabricante declare o desempenho do produto para as características exigidas pelas especificações técnicas (CEPMC 2005).

O conceito de durabilidade relativo à marcação CE significa a permanência das características obrigatórias de um produto, correspondentes a um ou mais dos 6 requisitos básicos. *Esta permanência depende da evolução no tempo de um ou vários desempenhos das referidas características, e implica a resistência à deterioração aquando da exposição a agentes externos ou específicos (EC 2004), normalmente previsíveis.*

Tabela 1. Vida útil expectável (vida útil da concepção) de obras e materiais de construção [EOTA 1999]

Vida útil expectável das obras (anos)		Vida útil dos materiais de construção, expectável em ETAGs, ETAs, hENs (anos)		
Categoria	Anos	Categoria		
		Reparável ou facilmente substituível	Reparável ou substituível com alguma dificuldade	Perpétuo ²⁾
Curto	10	10 ¹⁾	10	10
Médio	25	10 ¹⁾	25	25
Normal	50	10 ¹⁾	25	50
Longo	100	10 ¹⁾	25	100

¹⁾ Em casos excepcionais e justificados, por exemplo determinados produtos de reparação, pode ser considerada uma vida útil de 3 a 6 anos (quando aceites pelo EOTA TB ou CEN, respectivamente)

²⁾ Quando não reparável ou “facilmente” substituível ou reparável ou substituível “com alguma dificuldade”

Em muitos casos os produtos de isolamento térmico são reparáveis ou substituíveis “com alguma dificuldade”. Existem aplicações excepcionais, por exemplo, o isolamento de fundações, nas quais o produto tem de ser considerado na categoria “Normal” o que significa 50 anos de vida útil de acordo com a tabela 1.

2. CÁLCULO DA DURABILIDADE DOS PRODUTOS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

O cálculo da durabilidade de produtos de isolamento térmico é possível através de:

- Métodos de teste laboratoriais de curto prazo
- Métodos laboratoriais de envelhecimento
- Teste dos produtos no tipo de aplicação a que se destinam em condições climáticas naturais

2.1. Métodos de testes laboratoriais

Nas duas seguintes características obrigatórias especificadas nas normas europeias de produto, serão abordadas:

- Durabilidade da resistência térmica contra a erosão por agentes meteorológicos, degradação e ciclo de gelo/degelo.
- Durabilidade da resistência à compressão face ao envelhecimento e degradação.

2.1.1. Durabilidade da resistência térmica contra a erosão por agentes meteorológicos, degradação e ciclo de gelo/degelo

Um dos mais importantes testes para o poliestireno extrudido, é o teste de ciclo de gelo/degelo. Compreende dois testes distintos. O teste de absorção de água por difusão [EN 12088] e o teste de absorção de água após congelamento e ciclos de descongelamento [EN12091]. O teste é obrigatório para aplicações como Coberturas Invertidas, e qualquer isolamento abaixo do nível do solo; por exemplo, isolamento do perímetro e isolamento de estradas e vias-férreas [EN 14934].

As figuras 1 e 2 apresentam esquematicamente a composição do teste e as condições limite do teste de difusão e de ciclo de gelo/degelo.

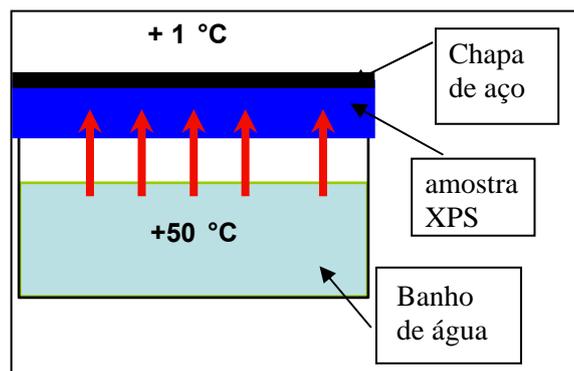


Figura 1. Teste de difusão (esquemático), 28 dias

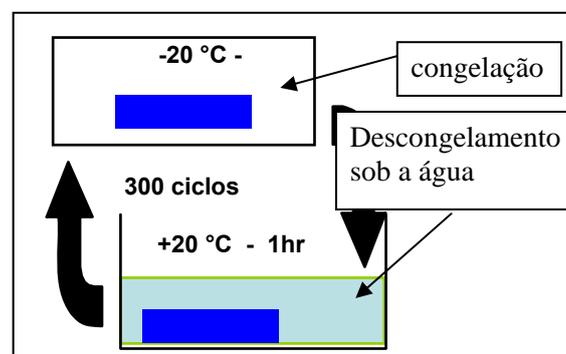


Figura 2. Teste de ciclo de gelo/degelo (esquemático), 28 dias

Após um teste de difusão de 28 dias, as amostras são utilizadas para um teste de ciclo de gelo/degelo. As condições limite são mais severas que as condições climáticas da maioria dos países europeus mas os resultados estão em consonância com os resultados práticos de longo prazo. Por conseguinte, as condições do teste simulam num curto prazo, o desempenho do produto sob condições climáticas normais a longo prazo.

As exigências tanto para a absorção de água por difusão, como para ciclos de gelo/degelo, encontram-se listadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Níveis de absorção de água por difusão, em relação à espessura nominal d_N em conformidade com a EN 13164 [EN13164] para poliestireno extrudido.

nível	Requisito [m^3/m^3 (Vol-%)]		
	$d_N = 50mm$	$d_N = 100mm$	$d_N = 200mm$
WD(V)5	≤ 5	≤ 3	$\leq 1,5$
WD(V)3	≤ 3	$\leq 1,5$	$\leq 0,5$

Os valores reais dos resultados dos testes dos diversos organismos europeus participantes são apresentados na figura 3.

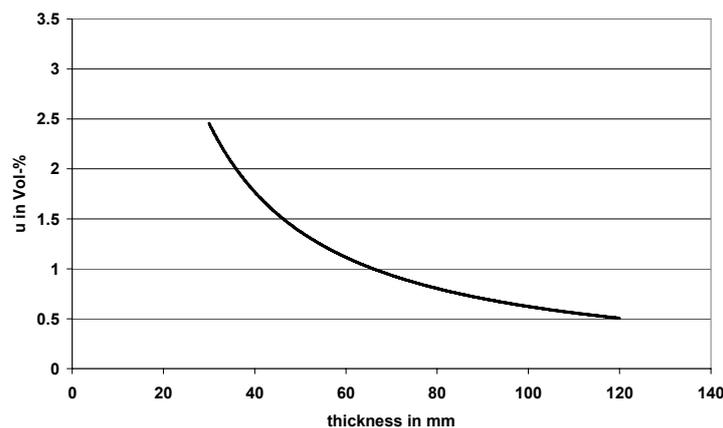


Figura 3. Absorção de água por difusão - valores típicos para os produtos tipo ROOFMATE.

Os valores na figura 3 conduzem a um documento WD(V)3, em conformidade com a EN 13164. Pode considerar-se que este produto é resistente ao impacto da água.

Tabela 3. Níveis de resistência contra os ciclos de gelo/degelo e absorção de água após os ciclos de gelo/degelo para o poliestireno extrudido, em conformidade com a EN 13164.

nível	Requisito [m^3/m^3 (Vol-%)]
FT 1	≤ 2
FT 2	≤ 1

Após os ciclos de gelo/degelo, a redução da resistência à compressão não deverá exceder 10% do valor inicial. Este requisito garante que a estrutura do material da espuma não se deteriorou durante os processos de congelamento e descongelamento.

Os valores reais dos testes realizados pelos organismos europeus participantes apresentam uma insignificante redução da resistência à compressão para produtos STYROFOAM™.

2.1.2. Durabilidade da resistência à compressão

Existem aplicações para as quais não é possível ou acessível reparar ou substituir os materiais de isolamento térmico, especialmente quando estes materiais são aplicados sob as fundações ou no interior de outras componentes estruturais de um edifício.

Numa tal situação, os produtos devem encontrar-se em conformidade com a categoria “NORMAL” especificada na tabela 1. Normal corresponde a um tempo de vida de pelo menos 50 anos.

A espuma de poliestireno extrudido foi utilizada com sucesso durante muitos anos, sob construções de estradas e vias-férreas, assim como sob lajes de cimento para sustentação de cargas, tais como fundações ou pavimentos industriais.

É necessário conhecer o comportamento pressão/tensão (deformação de compressão) do XPS sob carga constante. A análise de produtos de isolamento térmico deve respeitar a norma de teste europeia EN 1606 (EN1606).

A norma inclui o método de medição e um método de cálculo, para prever a deformação a longo prazo de acordo com a abordagem FINDLEY (Merkel 2004).

Este método descreve o comportamento visco/elástico da espuma de plástico alveolar.

$$X_t = X_0 + m \cdot t^b \quad (1)$$

onde:

X_0 : deformação inicial 60s após ter sido aplicada a carga

m, b : parâmetros dos materiais (parâmetros FINDLEY)

A equação (1) é conhecida como a equação FINDLEY. O segundo termo descreve a componente visco/elástica da deformação. Os parâmetros dos materiais m e b dependem da pressão.

Equação (1) também pode ser expressa de forma linear introduzindo os termos logarítmicos:

$$\log (X_t - X_0) = \log m + b \cdot \log t \quad (2)$$

Os parâmetros m e n podem ser obtidos de uma curva de regressão linear, que é calculada utilizando os valores medidos, começando 168 horas após a medição inicial. Da equação (2) segue o parâmetro b como a inclinação da curva, e o registo m a intercepção da ordenada.

A figura 4 apresenta a curva de regressão linear típica para o FLOORMATE™ a partir da qual m e b podem ser determinados. Os detalhes deste procedimento são descritos na EN 1606. Uma extrapolação 30 vezes o tempo de teste que é permitido quando $R^2 \geq 0.9$.

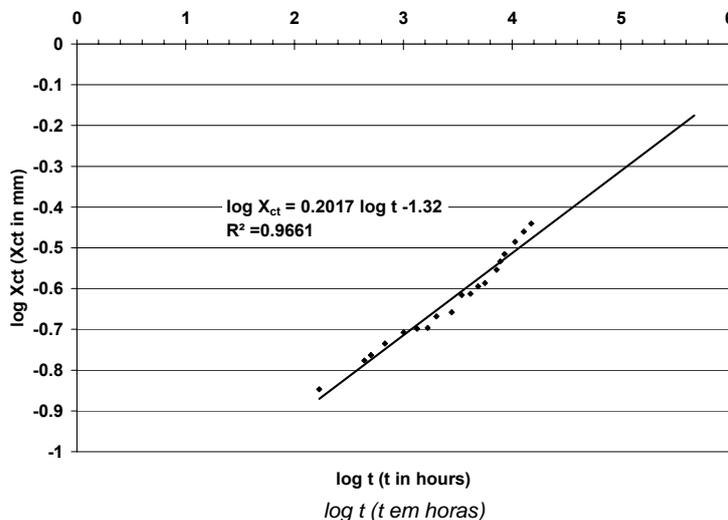


Figura 4. Curva de regressão típica do FLOORMATE para determinação dos parâmetros FINDLEY m e b

Tomando o exemplo dado, determina-se que os parâmetros FINDLEY são: $b = 0.2017$ e $m = 0.048$.

Para aplicações em edifícios, tais como o isolamento térmico das fundações, é necessária uma redução total de $\leq 2\%$ da espessura, e um tempo de extrapolação de 50 anos. Em conclusão, os produtos de isolamento térmico têm de ser testados durante 608 dias, a um nível de pressão que provocará deformações inferiores a 2%.

A imagem 5 apresenta uma curva de deformação para um produto XPS, em conformidade com a EN 1606.

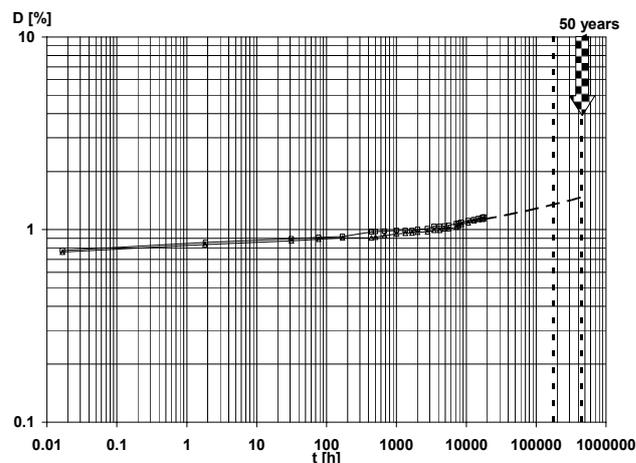


Figura 5. Distorção por deformação de um produto FLOORMATE sob uma carga constante de 270 kPa (Gráfico: Dow Building Solutions)

É evidente que após um breve período de resposta inicial à carga aplicada, a parte restante da deformação por distorção é bastante pequena. As linhas perpendiculares tracejadas no lado direito da imagem são aos 20 e 50 anos. Entre 20 e 50 anos de serviço a deformação verificada é irrisória.

A espuma permanece estruturalmente estável durante a totalidade do período de teste. Isto significa que a espuma de poliestireno extrudido é extremamente durável face a cargas mecânicas permanentes.

2.2. Desempenho a longo prazo em condições de utilização final – exemplos

2.2.1. Aplicação na Engenharia Civil

O desempenho do poliestireno extrudido em isolamento de pavimentos rodoviários foi estudado na Sibéria durante um período superior a 20 anos. [Polukhina et. al. 2003].

A camada de isolamento localizava-se entre 50cm e 65cm abaixo do nível do pavimento. As condições climáticas eram caracterizadas pelas condições climáticas continentais típicas, com amplitudes térmicas de aproximadamente 90 °C entre o Verão e o Inverno.

Os resultados que caracterizam a durabilidade dos produtos XPS aplicado neste projecto, encontram-se registados na tabela 4.

Tabela 4. Resultados do desempenho a longo prazo do STYROFOAM na aplicação em pavimentos rodoviários. [Polukhina et. al. 2003]

Característica	1983	1995	2003
Resistência à compressão [N/mm ²]	0,40	0,48	0,52
Condutibilidade térmica a 20°C, amostra seca [W/(mK)]	0,028	0,0286	0,0295
Condutibilidade térmica a 20°C, amostra húmida [W/(mK)]	-	0,0301	0,0309

O produto XPS estudado não apresentou deterioração sob condições climáticas muito severas, e condições hidrológicas e do solo complexas, ao longo de 20 anos de serviço. O aumento da condutibilidade térmica, devido ao impacto da humidade, é inferior a 5%. A mudança na condutibilidade térmica dependente do tempo, devido à mudança do gás do alvéolo é de aproximadamente 5%. Isto encontra-se bem abaixo do aumento previsto em 10%, de acordo com as normas alemãs.

2.2.2. Aplicação em Edifícios

A aplicação de XPS em soluções de cobertura invertida requer uma elevada resistência mecânica à compressão e à humidade. Neste tipo de utilização o produto de isolamento é exposto a um impacto combinado de calor, humidade e cargas mecânicas.

Por este motivo, o desempenho a longo prazo do XPS nestas condições de utilização é de interesse primordial.

Os produtos XPS foram testados após 5 a 22 anos de serviço, nas mais diversas soluções de acabamento de cobertura invertida, e no isolamento do perímetro abaixo do nível do lençol freático.



Figura 6. Amostra de placas de ROOFMATE™, de uma cobertura ajardinada [Schäfer, von Rekowski,Rahn]

Os resultados estão resumidos na tabela 5.

Tabela 5. Resultados do desempenho a longo prazo do XPS na aplicação em Cobertura Invertida (CI) e Perímetro (Dow Building Solutions)

Solução Construtiva	Vida útil [anos]	Espessura [mm]	Resistência à Compressão [kPa]	λ_{10} medida [W/(mK)] ¹⁾	$\lambda_{concepção}$ [W/(mK)] ²⁾
CI lastro de gravilha [MBJ 2005]	8	140	não medida	0,036	0,038
CI lastro de gravilha	22	80	359	0,029	0,033
CI Coberturas ajardinadas [Dow/OFI 2003]	22	60	459	0,029	0,033
Perímetro abaixo do nível do lençol freático [Hafer 2006]	5	60	357	0,031	0,035

¹⁾ amostra espontânea, conforme tirada do edifício

²⁾ valores de concepção, em conformidade com as normas nacionais na Áustria, Alemanha e Suíça



Figura 7. Perfil transversal de uma placa de isolamento ROOFMATE após 32 anos de serviço, numa cobertura invertida no exterior da camada à prova de água [Dow/FIW 2004],

A amostra apresentada na figura 7 foi tirada de uma cobertura e cortada ao meio, para investigar se a estrutura de espuma se deteriorou ao longo da vida útil. Não se conseguiu detectar qualquer alteração na estrutura alveolar. Isto explica o porquê de as propriedades da espuma se manterem praticamente inalteradas.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EC2004 'Durability and the Construction Products Directive', European Commission, DG Enterprise and Industry, Brussels, Dec. 2004
- CEPMC2005 'Durability of the performance of construction products',CEPMC, Brussels Sept. 2005
- EOTA1999 'Assumption of working life of construction products in ETAG, ETA and harmonized standards', Guidance Document 002, Brussels Dec. 1999
- EN12088 'Thermal insulating products for building applications – Determination of long term water absorption by diffusion'
- EN 12091 'Thermal insulating products for building applications- Determination of freeze-thaw resistance'
- EN14934 2007 'Thermal insulation and light weight fill products for civil engineering applications – Factory made products of extruded polystyrene (XPS) – specification
- EN13164 'Thermal insulation products for buildings- Factory made extruded polystyrene foam products (XPS)'
- EN1606 'Thermal insulating products for building applications – Determination of compressive creep'
- Merkel,H., 2004 'Determination of Long-Term mechanical Properties for Thermal Insulation under Foundations. BUILDINGS IX, Proc. International Conference Clearwater, Florida 2004, ASHRAE 2004
- Polukhina, L.A., Nikitin, V.P, Shestakov, V.N., 2003 'Study of the operating condition of the Omsk-Novosibirsk motorway section (km 1304, PK 101+40 – PK 106+00) with STYROFOAM foamed plastic heat insulating layers' (in Russian) , Siberian state road transport academy,Research Division, Omsk 2003
- Schäfer,W., von Rekowski, Rahn,A. , 2006 , Es grünt so grün auf den Umkehrdächern – Ein Erfahrungsbericht von Dow' , Schwalbach 2006
- MBJ Bauphysik+Akustik AG, 2005, , Untersuchungsbericht Umkehrdach mit Roofmate SL-A' , Kirchberg 2005, Schweiz
- Dow/OFI, 2003, Erfahrungsbericht Erdfunkstelle Aflenz, Dow Building Solutions/ Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik, Wien 2003
- Hafer, K. , 2006 , Langzeitverhalten von Wärmedämmplatten aus extrudierten Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) im Grundwasserbereich, Köln 2006
- Dow/FIW, 2004 , 32 Jahre Umkehrdach' , Schwalbach, München 2004