



Boletim Técnico TB-345

MEU DIFUSOR VAI A 12 ANOS

ESTUDO DE CASO NA ETE BREMERTON - USA

Fonte: WEFTEC - Prof. Stenstrom – 11 year old AEROSTRIP report
23/4/2015

Meu difusor vai a 11 anos

Trabalho técnico apresentado na WEFTEC de 2012

Autores:

Stenstrom, M.K.^{1*}; Willman, L²; Migsich, N³; Leland, T⁴

¹University of California, Los Angeles*

²City of Bremerton, Washington

³AquaConsult, Traiskirchen, Austria

⁴Ovivo USA, Utah

RESUMO

Difusores de membrana de bolhas finas são amplamente usadas em todo o mundo para aeração em reatores de lodo ativado. A aeração pode ser responsável por até 60% do uso de energia de uma planta (Rosso, et al. 2005).

A incrustação dos poros e a degradação do material da membrana podem reduzir a eficiência energética dos difusores de membrana de bolhas finas para 50% da eficiência original após apenas alguns anos de operação. Este trabalho investigou a eficiência de transferência de oxigênio de difusores AEROSTRIP® de membrana de poliuretano, que estiveram em uso contínuo com as membranas originais desde 2001, na estação municipal de águas residuárias em Bremerton, Washington. Os resultados dos testes de água limpa e residual nos testes off-gás em 2012 e 2013 indicaram que os difusores AEROSTRIP® operando de onze a doze anos estavam com ~ 80% de sua eficiência original. Uma técnica de limpeza dos difusores com lavagem sob pressão simples aumentou a taxa de transferência de oxigênio dos difusores de onze a doze anos para ~ 90% da eficiência original, resultando em um SOTE medido de 7,4% / m (2,3% / ft) de profundidade de imersão e foi eficaz na redução da pressão em cerca de 60 mbar (0,9 psi).

PALAVRAS-CHAVE: aeração, difusores, transferência de oxigênio, energia, teste off gás

INTRODUÇÃO

A planta de Bremerton, Washington foi convertida de um sistema de bolhas grossas para sistema com difusor de bolha fina modelo plano com membrana de poliuretano em 2001 usando mão de obra da própria unidade de tratamento.

Existem 140 difusores AEROSTRIP® (AquaConsult, Áustria; Ovivo, Utah) de 15 cm x 3 m operando em cada um dos dois tanques (Figura 1). A planta não é com nitrificação e atualmente trata aprox. 18.925 m³/dia (5 mgd) e com um tempo médio de residência celular (MCRT) de aproximadamente 1,5 dias nos dois tanques paralelos de 1.665 m³ (440.000 galões) operando com uma profundidade de imersão do difusor de 4,15 m (13,6 pés), que é essencialmente a profundidade útil da água no tanque, com estes difusores de perfil fino montados no chão. Um seletor anaeróbico está presente, no entanto, houve refluxo de oxigênio para esta zona, e a avaliação microscópica confirmou a presença de filamentos. A manutenção dos difusores nos últimos doze anos em Bremerton foi limitada a lavagem periódica da parte superior do tanque e escovação dos difusores (usando uma escova de cerdas macias) com sabão neutro, um processo que leva 2-3 horas por tanque.



Figure 1. Bremerton Plant. Left photo shows the two basins. Top right photo shows the north basin shortly after installation and the bottom right photo shows the north basin immediately following the 2012 off gas testing.

Muito trabalho tem sido relatado sobre a degradação da transferência de oxigênio de difusores de bolhas finas ao longo das últimas duas décadas ou mais. Em muitos sistemas, a transferência de oxigênio pode cair para 50% do valor original eficiência após 2-5 anos de operação, quando a manutenção adequada ou substituição da membrana não é praticado (Rosso e Stenstrom, 2006), o que pode aumentar significativamente o consumo energético de uma planta, além de diminuir sua capacidade de tratamento. O teste de off-gás é geralmente o melhor método para rastrear a eficiência da transferência de oxigênio em uma instalação operacional ao longo do tempo. Métodos off-gás on-line foram introduzidos nos últimos anos (Leu, et al, 2009).

A propensão para incrustação do difusor de bolhas finas é afetada pelo tempo médio de residência da célula (MCRT), presença de nitrificação, presença de desnitrificação, presença de seletores, localização de difusores em um tanque de fluxo em pistão e outros fatores importantes (Rosso e Stenstrom, 2005). A instalação de Bremerton, sendo um sistema MCRT curto (pequena idade do lodo), não nitrificante, tem um potencial relativamente alto para incrustação nos poros incrustação. Embora um seletor anaeróbico estivesse em operação, o que normalmente reduziria o potencial de incrustação nos poros dos difusores, houve refluxo significativo de oxigênio para esta zona, tornando-o amplamente ineficaz no controle de filamentos.

Várias técnicas de manutenção tiveram algum sucesso em melhorar as taxas de transferência de oxigênio em campo nas estações de tratamento de águas residuárias, incluindo mangueiras superiores, limpeza física e injeção de ácido na tubulação de ar (Mueller, et al. 2002). A lavagem com pressão não foi amplamente estudada como um método para restaurar a eficiência de transferência de oxigênio, e esta técnica foi estudada como parte deste trabalho.

METODOLOGIA

Teste de transferência de oxigênio de 2012

Em julho de 2012, o teste off-gás foi realizado na planta com onze anos em operação contínua. O teste off-gás foi realizado da mesma maneira que descrito em relatórios e atividades anteriores pelo primeiro autor (Rosso et al, 2005) e é consistente com os procedimentos descritos pelos EUA

EPA (1983). É baseado no método original de off-gás (Redmon et al., 1983). Uma campana medindo 61 x 244 cm (2 pés x 8 pés) foi usada em oito locais em cada um dos dois tanques para cada série de testes, representando cerca de 3,8% de cobertura da área de superfície dos tanques. O teste de off-gás de 2012 foi realizado ao longo de três dias de operação da planta e incluiu cinco séries de testes na bacia sul e duas séries de testes na bacia norte. Não houve interrupção nas operações da planta durante o teste.

Após o teste de off-gás, dezoito dos difusores originais de onze anos com as membranas originais foram colhidas para teste de água limpa na fábrica, em tanque de teste medindo 4,5 m x 6,5 m (Figura 3) seguindo o ASCE Oxygen Transfer Standard (2006). A primeira série de testes em água limpa foram realizados usando os difusores em seu estado colhido, sem limpeza.

O teste de off-gás no local e o teste com água limpa no tanque de teste da fábrica em 2012 foram cada um realizados em três taxas de fluxo na membrana diferentes - aproximadamente 16,8, 25,8, 51,5 Nm³/m²/h (1,0, 1,5 e 3,0 scfm/ft²) O teste com água limpa no tanque de teste da fábrica foi realizado em cada uma das três diferentes densidades de difusor (8,9, 17,8 e 26,8% de cobertura) para representar a faixa típica do arranjo do difusor no sistema de aeração escalonada da planta. A variação da cobertura no tanque de teste na fábrica foi realizada fechando e abrindo válvulas para cada difusor para operar 6, 12 ou 18 difusores, já que cada difusor individual tinha seu próprio tubo de alimentação.



Figure 3. Left photo shows the location of the eighteen eleven-year old diffusers harvested for clean water and material strength testing (represented by replacement with the new diffusers). Right photo shows the harvested diffusers in the test tank for clean water testing

Após os testes iniciais com água limpa, uma técnica simples de lavagem com pressão sem produtos químicos foi realizada na própria instalação de teste. Os testes com água limpa foram então repetidos para taxas de fluxo 16,8 e 25,8 Nm³/m²/h (1,0 e 1,5 scfm/ft²) e com a condição de cobertura de difusores de 17,8%. Após a lavagem com pressão, o padrão de distribuição melhorou visivelmente (Figura 4).



Figure 4. Pressure washing the eleven-year old diffusers at the factory test tank in 2012. The positive effects of pressure washing can be seen on the air distribution pattern.

Teste de transferência de oxigênio de 2013

Em abril de 2013, o teste de off-gás foi repetido em Bremerton usando os mesmos métodos descritos anteriormente, nos difusores agora com 12 anos. Ambos os tanques foram testados com off-gás em uma terça-feira; a lavagem sob pressão do tanque norte foi realizada em uma quarta-feira; e os testes de off-gás foram repetidos em ambos os tanques em uma quinta-feira. Duas séries de testes por tanque por dia foram realizadas usando a mesma campana e oito locais de teste de 2012. O tanque norte foi selecionado para lavagem sob pressão, pois não continha os dezoito novos difusores que substituíram os colhidos do tanque sul para o teste de água limpa em 2012.

A técnica de lavagem a pressão consistia em manter cerca de 10 cm (4 polegadas) de água efluente sobre os difusores, operando os difusores com uma pequena vazão de ar dos sopradores, e aplicar um jato de água de alta pressão através de um bico rotativo mantido logo acima do nível da água ao longo do comprimento do difusor (Figura 5). Normalmente, 2-3 passagens de 1-2 segundos por passagem eram usadas para cada difusor plano de 3 m. O procedimento foi uma operação de três pessoas - uma pessoa lavou os difusores sob pressão, uma pessoa administrou a mangueira e prestou assistência geral em o tanque, e uma pessoa atuou como um guarda de segurança no topo do tanque. Demorou 3-4 horas usando uma

lavadora de pressão de 19 MPa (2.800 psi) equipada com um bocal giratório para lavagem de pressão em todo tanque, equipado com 140 difusores planos AEROSTRIP® 3m x 15 cm.



Figure 5. A worker pressure washing the 12-year old diffusers in the north tank in 2013. It took 3-4 hours to pressure wash the entire tank.

Teste no Material 2012

O teste de tração foi realizado em uma seleção aleatória dos dezoito difusores colhidos em 2012.

Para o teste de tração, as amostras de corpo de prova (osso de cão) foram cortadas dos difusores de onze anos, conforme mostrado na Figura 6. Além disso, uma amostra de corpo de prova semelhante foi removida de uma membrana não utilizada que foi produzida na mesma corrida de produção que a membrana original e foi armazenada na fábrica desde 2001. Cinco amostras por membrana foram preparadas para o teste. As amostras foram deixadas no laboratório, que foi climatizado a 23 ° C durante a noite antes de serem testadas. A resistência à tração e o alongamento foram medidos usando o testador de tração, tipo BD0-FB0.5TH, fabricado por Zwick GmbH & Co. KG, Alemanha. A velocidade de tração foi de 500 mm / min por ISO37.

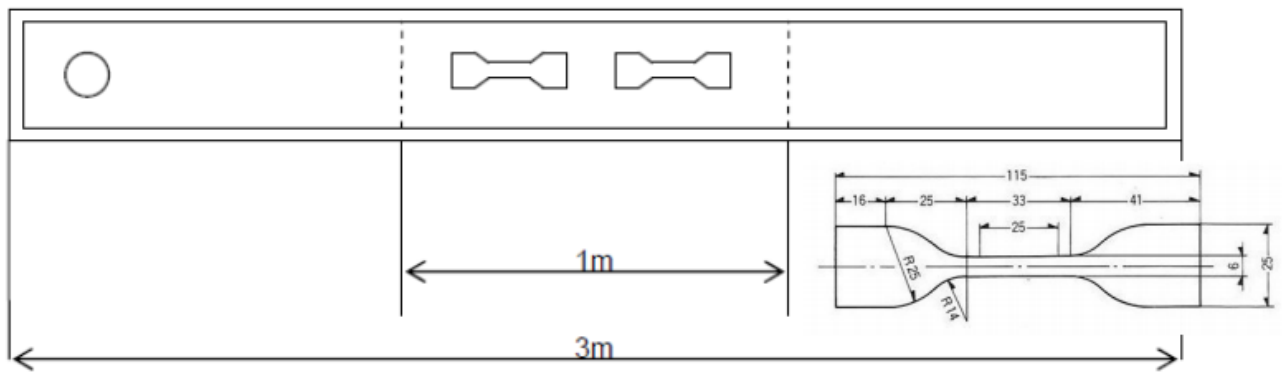


Figure 6. Membrane samples for tensile strength and elongation testing

RESULTADOS

Teste Off-Gás

O valor α FSOTE médio do teste de off-gás do local foi de 13,4% e 12,6% em 2012 e 2013, respectivamente, para todos os testes realizados antes da lavagem de pressão (para 2012, todos os testes; para 2013, todos testes do tanque sul e testes do tanque norte de terça-feira). Em 2013, o valor α FSOTE médio para o norte tanque era 12,0% na terça-feira (antes da lavagem de pressão) e 14,9% na quinta-feira (após lavagem à pressão). Os resultados são apresentados na Tabela 1. Além disso, a pressão na tubulação de ar caiu de cerca de 485 a 425 mbar (7,1 a 6,2 psi) como resultado da lavagem de pressão conforme lida nos indicadores de pressão instalados. Nenhuma tentativa foi feita para verificar a precisão dessas pressões nos instaladas indicadores, mas os resultados são geralmente consistentes com aqueles obtidos durante os testes de água limpa, em pelo menos após a lavagem à pressão.

Table 1. Summary Results of Off Gas Testing. Tests 3N and 4N represent measurements following in basin pressure washing of diffusers; all other results are before pressure washing.

2012 Data

Test	OTE (%)	aSOTE (%)	α	Air Flux		DO (mg/L)	Uptake (mg/L-hr)
				(scfm/ft ²)	m ³ /m ²		
1	7.47	12.61	0.47	0.32	0.10	4.31	29.7
2	10.8	12.94	0.48	0.22	0.07	1.56	29.9
3	6.70	8.39	0.31	0.36	0.11	2.21	29.8
4	16.4	17.84	0.66	0.12	0.04	0.69	23.9
5	13.64	13.96	0.52	0.09	0.03	0.23	15.1
6	7.81	13.28	0.49	0.18	0.06	4.33	17.7
7	10.1	14.71	0.54	0.48	0.15	3.28	60.5
Overall	10.4	13.4	0.50	0.25	0.08	2.37	29.5

2013 Data

Test	OTE (%)	α SOTE (%)	α	Air Flux		DO (mg/L)	Uptake (mg/L-hr)
				(scfm/ft ²)	(m ³ /m ²)		
1N	7.83	10.93	0.40	0.28	0.086	2.84	23.2
1S	8.45	11.40	0.42	0.23	0.071	2.68	21.2
2N	9.62	13.05	0.48	0.19	0.059	2.66	19.4
2S	10.51	13.63	0.50	0.17	0.052	2.38	18.7
3N	10.25	14.27	0.53	0.17	0.052	2.98	19.8
3S	9.31	13.01	0.48	0.20	0.060	3.03	19.4
4N	9.15	15.45	0.57	0.18	0.055	4.41	18.8
4S	9.17	13.63	0.50	0.20	0.062	3.47	20.2
Avg N	9.04	13.11	0.49	0.22	0.066	3.22	20.64
Avg S	9.28	12.83	0.48	0.20	0.062	2.89	19.98
Overall	9.2	13.0	0.48	0.21	0.064	3.05	20.32

A lavagem de pressão melhorou a eficiência de transferência mais na extremidade frontal do tanque em comparação com a extremidade traseira do tanque (Figura 7). Normalmente, os difusores na extremidade afluente em sistemas de fluxo pistão têm a maior propensão para incrustação, então eles podem se beneficiar mais de procedimentos de manutenção (Leu, et al, 2012)

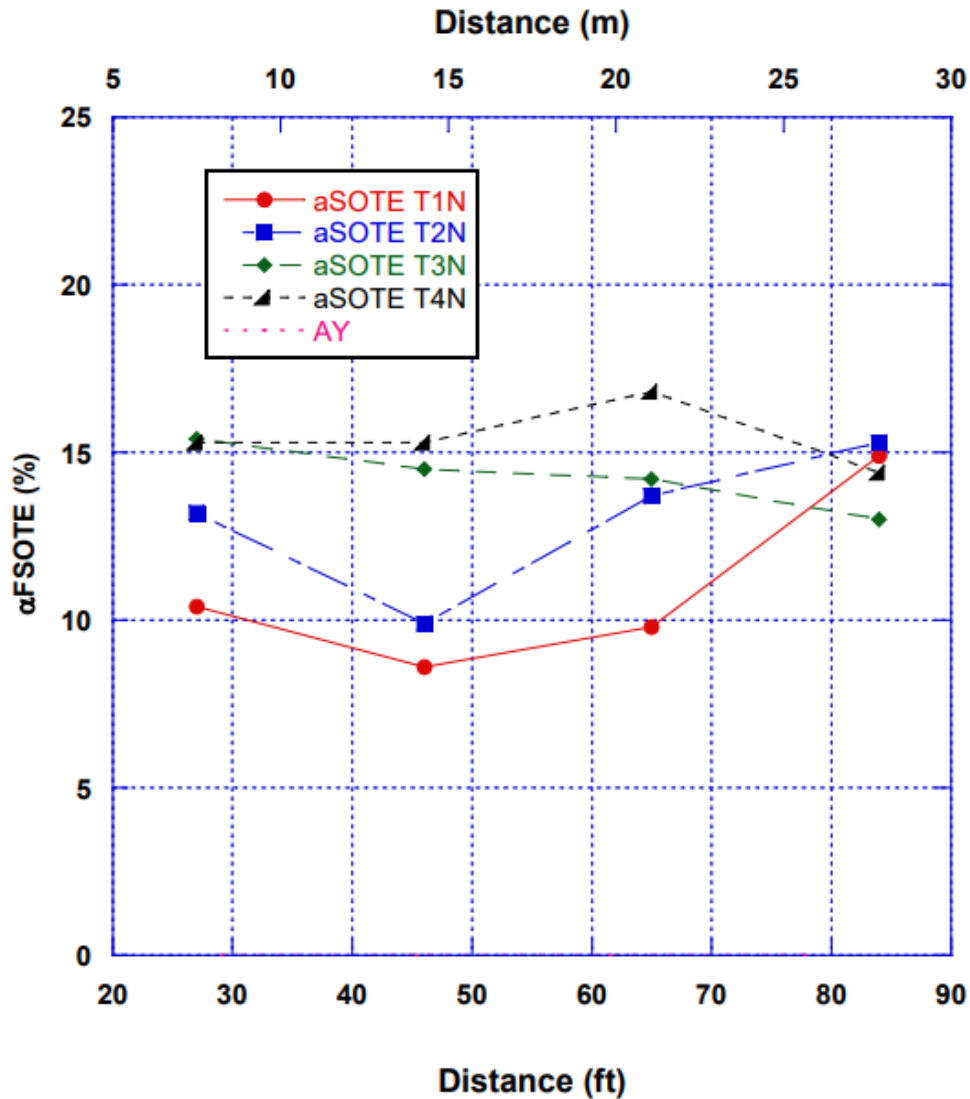


Figure 7. 2013 North Tank α FSOTE (%) versus tank distance measured from the influent end (tests 1N, 2N are before pressure washing; tests 3N, 4N are after pressure washing)

Tomados como um todo, os resultados indicam um α FSOTE após 11-12 anos de operação de cerca de 3,3% / m (1% / ft) de profundidade de imersão neste sistema 1.5-SRT (idade do lodo). Para tratamento convencional em plantas com pequena SRT plantas (SRT 1 a 6 dias), este sistema teve um desempenho melhor do que todos os difusores de membrana de bolhas finas testados anteriormente e melhores do que a maioria dos novos sistemas difusores de bolhas finas já testados pelo primeiro autor (Figura 8).

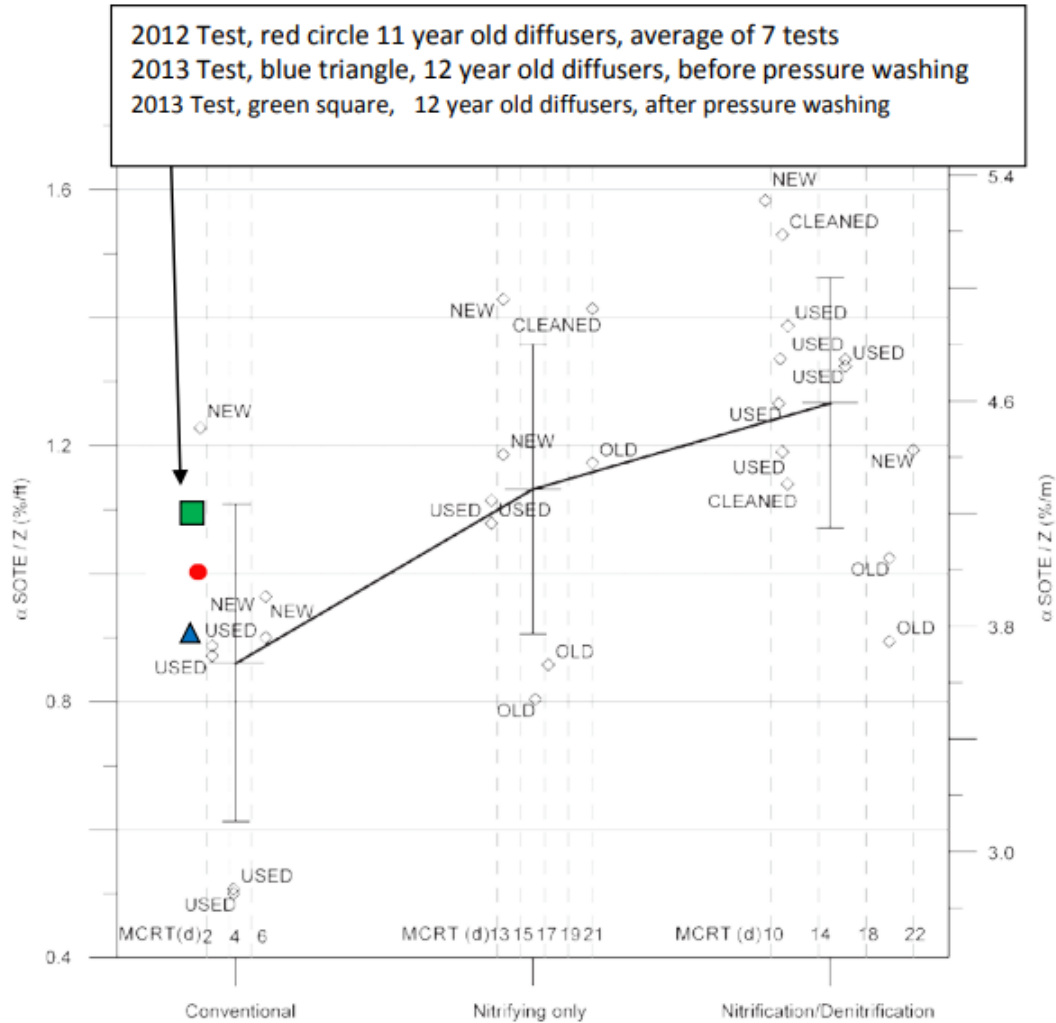


Figure 8. Results of off gas testing at Bremerton with 11-year old polyurethane strip diffusers with original membranes plotted in color with historical data from other plants collected by the first author. Historical “used and old” data points are generally from diffusers <5 years old.

Teste de água limpa

O valor SOTE médio de todos os testes em água limpa realizados usando as dezoito amostras de difusores antigos com onze anos com as membranas originais eram em média 27,2%, ou aproximadamente 6,6% / m (2,0% / pés) profundidade de imersão. Os resultados dos testes não mostram a tendência típica de aumento do SOTE com a diminuição do fluxo de ar ou aumentando o SOTE com o aumento da cobertura da área de difusores. A razão para essas podem ser as diferenças em difusores individuais. Observando os difusores no tanque durante o teste, ficou claro que alguns difusores tinham distribuição de ar melhor e pior. Houve um pequeno vazamento observável em um difusor. As diferenças nas eficiências de transferência causadas por as condições do difusor são provavelmente maiores do que a diferença que alguém teria observado com variações fluxo de ar e cobertura do piso. Os resultados do teste de água limpa antes da lavagem sob pressão são apresentados na Tabela 2.

Table 2. SOTE measured for harvested eleven-year old diffusers at varying bottom coverage (6 diffusers=8.9% BC; 12 diffusers=17.8% BC; 18 diffusers=26.8% BC) and varying membrane flux rates during the clean water tests before and after pressure washing

Test No.	No Strips	K_{La20} (1/hr)	C^*_{O20} (mg/L)	Flow Rate (SCFM)	Flux (SCFM/ft ²)	Flow Rate (m ³ /min)	Flux (m ³ /m ² -hr)	Tank Flux (SCFM/ft ²)	Tank Flux (m ³ /m ² -hr)	SOTE (%)
1	18	12.6	10.4	121	1.44	3.43	26.32	0.39	7.2	26.9
2	18	12.1	10.5	118	1.40	3.35	25.70	0.38	6.6	27.0
3	18	12.0	10.7	118	1.40	3.35	25.65	0.38	6.6	27.2
4	12	7.2	11.0	79	1.40	2.23	25.63	0.25	4.8	25.5
5	12	9.0	10.7	147	2.63	4.18	48.03	0.47	8.4	27.6
6	6	8.0	10.7	79	2.83	2.25	51.77	0.25	4.8	28.0
7	18	20.7	10.6	212	2.51	6.00	45.98	0.67	12.6	27.5
8	18	7.4	10.5	79	0.94	2.24	17.20	0.25	4.8	25.4
9	12	5.0	10.7	53	0.95	1.51	17.41	0.17	3	26.1
10	12	3.6	10.7	34	0.61	0.97	11.15	0.11	1.8	29.8
11	12	8.4	10.5	79	1.40	2.23	25.63	0.25	4.8	28.0

O teste em água limpa não foi realizado nos difusores novos em 2001; entretanto, seria esperado ter sido 33-34% com base nas curvas de fábrica e testes semelhantes realizados anteriormente pelo primeiro autor. Assim, o SOTE medido durante este teste em difusores não lavados (outros do que escovados) de onze anos representam cerca de 80% da eficiência original esperada de transferência em água para difusores novos deste tipo. Após a lavagem por pressão, a distribuição do padrão melhorou e o SOTE aumentou cerca de 4 pontos percentuais (um aumento de 15% na eficiência de transferência) em média. Os resultados são apresentados em Tabela 3. Este aumento no SOTE durante o teste de água limpa foi semelhante ao aumento observado na extremidade frontal do tanque de aeração durante o teste de off-gás após a lavagem sob pressão (Figura 7). Isto é consistente com o fato de que os difusores usados para testes de água limpa foram coletados na extremidade dianteira do tanque. A pressão foi reduzida em 108 mbar, ou 1,6 psi. A queda de pressão transmembrana após lavagem de pressão é semelhante ou ligeiramente menor do que a medida para novos difusores deste tipo.

Table 3. “SOTE” measured for harvested eleven-year old diffusers at bottom coverage of 17.8% and membrane flux rate of 25.8 Nm³/m²/hr (1.5 scfm/ft²) during the clean water tests before and after pressure washing. Static pressure head is about 407 mbar (5.9 psi)

Before Pressure Washing

	SOTE (%)	SOTE (%/m)	SOTE (%/ft)	Manifold Pressure (mbar)	Manifold Pressure (psi)
Test 4	25.5	6.2	1.9	536	7.9
Test 11	28.0	6.8	2.1	560	8.2
Average	26.8	6.5	2.0	548	8.1

After Pressure Washing

	SOTE (%)	SOTE (%/m)	SOTE (%/ft)	Manifold Pressure (mbar)	Manifold Pressure (psi)
Test 12	30.4	7.3	2.2	441	6.5
Test 13	30.7	7.4	2.3	441	6.5
Test 14	31.2	7.5	2.3	438	6.4
Average	30.8	7.4	2.3	440	6.5

Resultados Operacionais

A partir do teste de off-gás e água limpa, o fator alfa médio foi calculado em ~ 0,5. Este representa um alfa verdadeiro, uma vez que os dados SOTE usados no cálculo alfa representam a eficiência de transferência de difusores sujos que estariam nas mesmas condições que os difusores no tanque de aeração durante o teste off-gás. O valor alfa medido durante este teste é consistente com os valores relatado anteriormente para sistemas não nitrificantes de baixo MCRT (idade de lodo baixa) (Rosso, et al. 2005)

Os dados históricos da planta são mostrados na Figura 9. Muita pouca variação no fluxo de ar de longo prazo (exceto com algumas variações sazonais devido a estratégias operacionais variáveis) é observada na tendência histórica, o que é consistente com o teste de transferência de oxigênio realizado como parte deste trabalho.

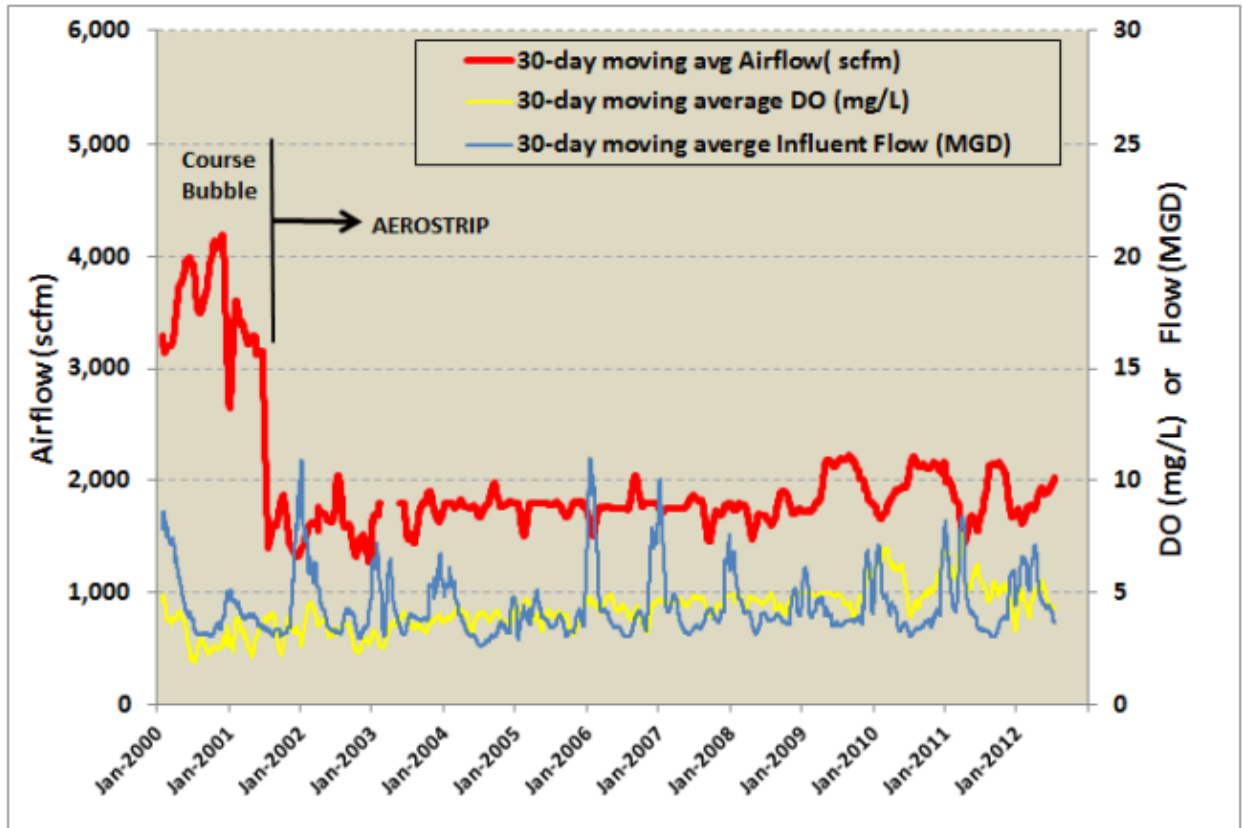


Figure 9. Long terms operational trends taken from the Bremerton plant’s operational logs.

Teste do Material da Membrana

O teste de alongamento e resistência à tração das membranas de poliuretano de onze anos foi realizada e comparada com o material original não utilizado que foi armazenado na fábrica desde 2001. O testador de tração usado foi o tipo BD0-FB0.5TH, fabricado por Zwick, GmbH & Co. KG, Alemanha. A resistência à tração média medida das membranas de onze anos foi de 9,0 MPa, aproximadamente 50% do original, material armazenado (Tabela 4)

Table 4. Results of tensile strength of eleven-year old Bremerton membranes compared to an unused sample from the original production run

Sample Name	Tensile Stress (MPa)	Strain (Elongation) (%)
68586-13-6 (original; unused)	18.0	254
68585-11-2 (used)	8.3	121
68585-8-5 (used)	9.4	159
68585-8-4 (used)	9.8	189
68585-9-1 (used)	8.8	139
68585-12-1 (used)	8.6	151

A resistência à tração reduzida após onze anos ainda é mais de três vezes maior do que as cargas transmitidas à membrana nas taxas de fluxo de projeto durante a operação em uma condição altamente suja, estimado em 2,4 MPa (350 psi). Este valor foi determinado da seguinte forma:

Os testes de resistência à tração foram realizados nas cinco amostras de membrana, conforme descrito anteriormente.

O arco circular, especificamente o raio da curva da membrana, foi calculado em função de o alongamento. A pressão diferencial foi calculada a partir da resistência à tração (tensão), raio da curva, e espessura da membrana usando a Equação 1 e plotada na Figura 10.

(1) Tensão = Pressão Diferencial x Raio da Curva / Espessura da Membrana

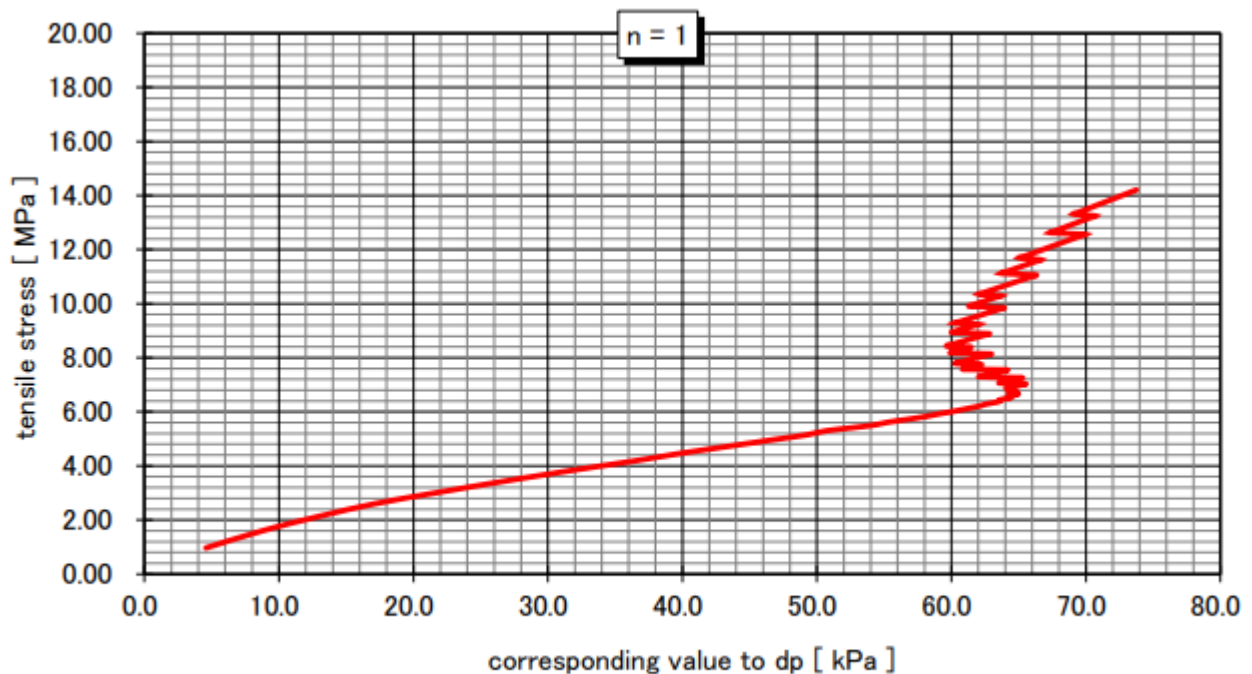


Figure 10. Relationship between tensile stress and membrane pressure loss (dp)

Uma queda de pressão de 15 kPa (2,2 psi), que foi medida para os difusores incrustados operando na extremidade frontal do tanque antes da limpeza de pressão (Tabela 3), representa um valor conservador para estimar a tensão de tração resultante. Conseqüentemente, uma queda de pressão de 15 kPa (2,2 psi) corresponde a uma tensão de tração de 2,4 MPa (260 psi). Isso é inferior à média medida da tensão de tração de 9,0 MPa em membranas de onze anos.

Os resultados são consistentes com as observações da equipe operacional (que trabalhou na planta durante toda a vida dos difusores) em que 5-8 (de 280) membranas precisaram de substituição nos primeiros onze anos de operação. Em todos os casos, os operadores usaram peças sobressalentes do difusor fornecidas pelo fabricante em 2001 para substituição.

RESUMO

Este trabalho oferece uma visão única da eficiência de difusores de membrana de bolhas finas operando de onze a doze anos continuamente. Como os difusores AEROSTRIP são montados diretamente no piso, podem ser instalados em arranjos com alta área cobertura devido à sua forma retangular, e eles usam tecnologia de perfuração fina, eles têm um maior potencial para transferir grandes quantidades de oxigênio nas águas residuárias em comparação com a maioria dos sistemas difusores de bolhas finas. Este estudo confirmou o a alta eficiência desses difusores durante uma vida estendida de doze anos na instalação de Bremerton.

A SOTE foi em média 26,8% antes da lavagem de pressão e 30,8% após a lavagem de pressão para os difusores colhidos de onze anos testados no tanque de teste da fábrica com uma taxa de fluxo de membrana de 25,8 Nm³/m²/h (1,5 scfm/ft²) e uma área de cobertura inferior de 17,8%. Do teste de off-gás, o α SOTE era de 13,3% em difusores de onze anos antes da lavagem de pressão, 12,6% em difusores de doze anos difusores antes da lavagem à pressão e 14,9% nos difusores lavados à pressão com 12 anos de idade. Os efeitos positivos da lavagem de pressão foram maiores na extremidade frontal do tanque em comparação com a extremidade traseira do tanque. O alfa calculado foi de ~ 0,5 para esta instalação de não nitrificação. Profundidade de imersão foi de 4,15 m (13,6 pés).

A seleção e manutenção de difusores pode ter um efeito profundo no uso de energia em águas residuárias nas estações de tratamento. Nesta planta, a lavagem a pressão reduziu os requisitos de ar de ~ 3.167 Nm³/h a ~ 2.850 Nm³/h (2.000 scfm a ~ 1.800 scfm) e pressão reduzida na tubulação de ~ 485 a ~ 425mbar (~ 7,1 a ~ 6,2 psi), o que reduziria o uso de energia de cerca de 60 a 48 kW (81 a 65 HP) quando o controle de OD é implementado. A 10 centavos / kW-h, isso resulta em cerca de US \$ 10.000 por ano em economia de energia obtida pela lavagem de pressão, e isso em um sistema que já estava operando substancialmente mais eficiente do que todas as outras plantas não nitrificantes previamente testadas pelo primeiro autor.

Estudos de transferência de oxigênio de difusores de membrana dessa idade geralmente não existem na literatura.

De um modo geral, as taxas de transferência de oxigênio medidas em Bremerton foram muito altas para difusores de membrana em uso por mais de cinco anos (neste caso, doze anos) em instalações sem nitrificação.

REFERENCES

- ASCE, Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water, ISBN 0-87262-430-7, New York, NY, 1984, 1992, 2006
- Mueller J.A., Boyle, W.C and Popel, H.J., *Aeration: Principles and Practices*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.
- Leu, S.Y., L.C. Chan, and M.K. Stenstrom, “Toward Long SRT of Activated Sludge Processes: Benefits in Energy Saving, Effluent Quality, and Stability,” *Wat. Env. Research*, 84(1), pp 42-53, 2012.
- Leu, S-Y, D. Rosso, L.E. Larson and M.K. Stenstrom, “Real-Time Monitoring Aeration Efficiency in the Activated Sludge Process and Methods to Reduce Energy Consumption,” *Wat. Env. Research*, 81(12), pp 2471-2481, 2009.
- Redmon, D.T., Boyle, W.C., and Ewing. L. (1983) “Oxygen Transfer Efficiency Measurements in Mixed Liquor Using Off-gas Techniques,” *JWPCF*, 55(11), 1338-1347.
- Rosso, D., R. Iranpour and M.K. Stenstrom, “Fifteen Years of Off-Gas Transfer Efficiency Measurements on Fine Pore Aerators: Key Role of Sludge Age and Normalized Air Flux,” *Wat. Env. Research*, 77(3), pp 266-273, 2005.
- Rosso, D and M.K. Stenstrom, “Comparative Economic Analysis of the Impacts of Mean Cell Retention Time and Denitrification on Aeration Systems,” *Wat. Research*, 39(16), 3773-3780, 2005
- Rosso, D and M.K. Stenstrom, “Economic Implications of Fine-Pore Diffuser Fouling,” *Wat. Env. Research*, 78(8), pp 810-815, 2006