DIGESTÃO APRIMORADA COM HIDRÓLISE TÉRMICA CONTÍNUA – UM CAMINHO DIRETO PARA UMA PLANTA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS SISTENTÁVEL ECONÔMICA.

RESUMO

Há uma necessidade crescente de grandes estações de tratamento de águas residuais gerarem o máximo de eletricidade possível a partir do biogás. Isso não apenas garante uma economia significativa nos custos operacionais, mas também melhora o perfil ambiental da planta. A digestão aprimorada através do uso do processo de hidrólise térmica contínua tem o potencial de ajudar uma grande estação de tratamento de águas residuais a avançar para a neutralidade energética. Este artigo tem como objetivo usar uma moderna estação de tratamento de águas residuais na Europa como um estudo de caso para investigar as vantagens potenciais que um processo de hidrólise térmica contínua pode fornecer. Os resultados indicam que, apesar de já ter um processo de digestão eficaz e eficiente, através da implementação do processo de hidrólise térmica contínua, a planta tem o potencial de cobrir 65% de suas necessidades energéticas totais a partir do biogás. Isso é 33% mais que a situação atual. Ao olhar para o futuro, através da otimização do processo de tratamento de águas residuais e da aplicação da hidrólise térmica contínua, as grandes ETEs têm o potencial de serem completamente neutras em energia elétrica. Esta seria uma vantagem financeira significativa tendo em vista o aumento de preços de eletricidade.

PALAVRAS-CHAVE: Neutralidade energética; Hidrólise Térmica Contínua

INTRODUÇÃO

Ao considerar as opções disponíveis para reduzir os custos de energia e a pegada de carbono em uma estação de tratamento de águas residuais (ETE), engenheiros e operadores normalmente avaliarão métodos para reduzir o consumo de energia e métodos para recuperar energia de efluentes. Embora as melhorias nas tecnologias de aeração, bombeamento e controle de processos sejam métodos eficazes para reduzir o consumo de energia, a única maneira pela qual uma estação de tratamento de águas residuais pode produzir quantidades significativas de energia renovável é utilizando a energia disponível em lodos/biosólidos. A digestão anaeróbia de biosólidos tem sido o processo de escolha para este propósito há várias décadas, porque é um processo relativamente simples e estável que produz gás metano (CH4), reciclando uma porção significativa da energia contida nos biosólidos para calor e energia (Jolis, 2008).

A digestão anaeróbia segue quatro etapas de processo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo a hidrólise a etapa limitante da taxa na reação (Gavala et al, 2003; Perez-Elvira et al, 2006). Ao melhorar a taxa da etapa de hidrólise, os substratos sólidos são mais acessíveis às bactérias anaeróbias, acelerando a digestão, aumentando o volume de biogás produzido e diminuindo a quantidade de lodo a ser descartado (Fdz-Polanco et al, 2008). Taxas de degradação anaeróbicas mais rápidas também podem economizar no volume do digestor (Phothilangka et al, 2008). O principal caminho para alcançar essa digestão aprimorada de biogás é aplicar um processo de pré-tratamento ao lodo antes da digestão (FDZ-POLANCO et al, 2008; Perez-Elvira et al, 2006). Processos térmicos, químicos, biológicos e mecânicos, bem como suas combinações, têm sido estudados como possíveis pré-tratamentos para acelerar a hidrólise do lodo (Climent et al, 2007; Kim et al., 2003; Weemaes e Verstraete, 1998). A melhoria da digestão dos biosólidos através do uso de um pré-tratamento é agora o método de referência para a recuperação de energia a partir de biosólidos. As propriedades físicas do biosólido não tratado também colocam um limite prático de aproximadamente 5% de concentração de sólidos totais em operações de digestão anaeróbica, já que a mistura, transferência de calor e bombeamento tornam-se ineficientes e dispendiosos em maiores teores de sólidos totais (JOLIS, 2008). Portanto, um processo de pré-tratamento que pode permitir a digestão anaeróbica em maiores teores de sólidos totais teria o potencial de adiar melhorias de capital dispendiosas para instalações de digestão anaeróbica que enfrentam limitação em capacidade e, portanto, problemas de conformidade (Jolis, 2008). Como pode ser visto na Figura 1, a aplicação de um processo de digestão aprimorado (neste caso, o processo de Hidrólise Térmica Contínua) é um importante contribuinte para a mudança em direção a concepção e realização de estações de tratamento de águas residuais que produzem energia.

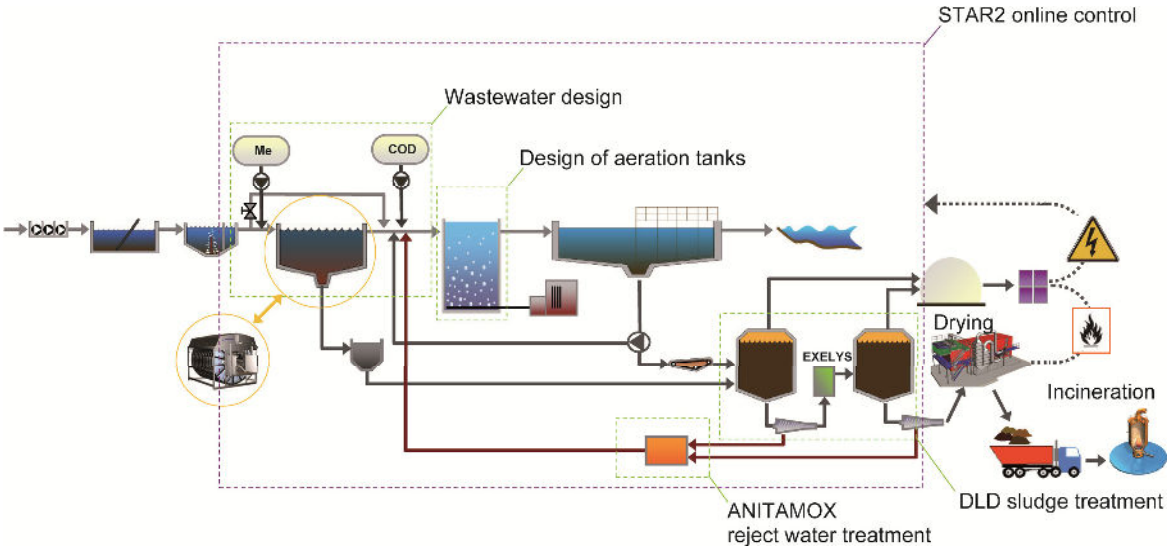

Figura 1: Um conceito para uma grande estação de tratamento de águas residuais.

HIDRÓLISE TÉRMICA DE LODOS

Nas últimas décadas, a hidrólise térmica tem sido reconhecida como uma das soluções de pré-tratamento mais confiáveis e eficazes para melhorar a digestão (Perez-Elvira et al, 2006; Phothilangka et al, 2008). No processo de hidrólise térmica, altas temperaturas e pressões são aplicadas durante um período de tempo. A hidrólise térmica é geralmente alcançada quando temperaturas entre 140-200 ° C e pressões de 6-25 bar são aplicadas por pelo menos 30 minutos (Chauzy et al, 2005; Climent et al, 2007; Dwyer et al, 2008; Perez-Elvira). et al, 2006; Phothilangka et al, 2008). Estas condições de operação implicam um consumo significativo de energia (geralmente vapor), que deve ser constantemente comparado com a maior produção de biogás devido ao pré-tratamento da hidrólise térmica.

Durante este processo, as células vivas e mortas são lisadas ou desintegradas, permitindo a liberação de matéria intracelular que é mais acessível a microrganismos anaeróbicos (Climent et al, 2007). Ao mesmo tempo, alguns sólidos suspensos são solubilizados e compostos orgânicos de cadeia longa são decompostos por reações de hidrólise (Chauzy et al, 2005). O lodo termicamente hidrolisado é um produto pasteurizado Classe A que possui uma viscosidade muito baixa e uma alta concentração de DQO solúvel. Essas condições significam que um processo de digestão após a hidrólise térmica do lodo produzirá significativamente mais biogás, significativamente menos lodo e economizará em um fator de 3 a 5 a energia necessária para misturar e bombear (Fdz-Polanco et al, 2008; Jolis, 2008). Outro resultado chave é que a desidratação da torta de lodo final é dramaticamente melhorada através da aplicação do pré-tratamento de hidrólise térmica (Fdz-Polanco et al, 2008; Panter, 2009; Phothilangka et al, 2008).

Sistemas disponíveis anteriormente operam em modo *batch*, o que leva a uma perda de energia em cada ciclo e superdimensionamento de equipamentos importantes (Fdz-Polanco et al, 2008). Embora os sistemas em batelada sejam comprovados e eficazes, sua aplicação até agora tem sido limitada a grandes instalações de tratamento de águas residuais. A hidrólise térmica contínua potencialmente forneceria as vantagens do processo para superar as restrições enfrentadas pela hidrólise térmica em batelada. O desenvolvimento de um processo de hidrólise térmica, contínuo, mais eficiente e econômico pode revolucionar a digestão aprimorada dos biosólidos e torná-la mais atraente para uma gama mais ampla de instalações de tratamento e contribuir para o aumento da produção de energia sustentável. Enquanto algumas patentes e literatura estão disponíveis que descrevem processos que abordam condições de operação contínua, há pouca informação disponível sobre sua eficácia (Fdz-Polanco et al, 2008).

EXELYS™ HIDRÓLISE TÉMICA CONTÍNUA

A solução Exelys ™ (patente pendente) é um novo sistema de hidrólise térmica realmente contínuo que opera na faixa de temperatura de 140ºC-165°C e em pressões entre 9-11 bar (a). Embora o processo requeira energia, a maior parte vem da recuperação de energia e da utilização de calor residual. Devido à maior remoção de matéria orgânica no sistema de digestão após o Exelys ™ (comparado com a digestão tradicional) e as propriedades físicas do lodo hidrolisado, a desidratação do lodo final é significativamente melhorada. O processo Exelys ™ é fortemente isolado

termicamente para minimizar as perdas de calor e, portanto, pode operar efetivamente ao ar livre sem ficar em um prédio, economizando nos custos da construção civil.

O sistema de hidrólise térmica contínua Exelys ™ está ilustrado na Figura 2. O lodo desidratado (> 20% w/w) proveniente de um silo de armazenamento é alimentado em uma bomba de cavidade progressiva que por sua vez alimenta continuamente o lodo para o Exelys ™. A capacidade do Exelys ™ para hidrolisar os lodos com alto teor de sólidos é uma vantagem significativa em relação à hidrólise tradicional em batelada.

O reator de hidrólise é a seção de tubo maior ilustrada na Figura 2. Nesta seção, o lodo flui a uma velocidade muito baixa, levando a condições de fluxo pistão para o lodo. Isso garante que nenhum lodo possa curto-circuitar o reator e que todo o lodo seja exposto às condições de hidrólise pelo tempo necessário. Um sistema de trocador de calor é usado para resfriar o lodo após o processo de hidrólise e recuperar energia para outros usos. A água de alimentação da caldeira para a geração de vapor pode ser pré-aquecida neste sistema juntamente com outras águas de processo que podem ser utilizadas para aquecer outros processos, edifícios ou até mesmo exportadas para uma rede de aquecimento urbano. O trocador de calor é utilizado para controlar a temperatura do lodo hidrolisado, para que o produto final do Exelys ™ possa ser utilizado como a única fonte de calor para o processo de digestão seguinte. Após o sistema de trocador de calor, existe a possibilidade de injetar águas residuais tratadas pasteurizadas no lodo. Isso pode ser usado para diluir e resfriar o lodo se isso for exigido pelo processo seguinte de digestão. A parte final do sistema de hidrólise térmica Exelys ™ é a bomba de contrapressão. Esta bomba opera de tal forma que pode controlar a pressão no sistema Exelys ™. Isso garante um controle de pressão confiável e eficaz, um ingrediente vital para o processo de hidrólise. A bomba de contrapressão pode, na maioria dos casos, também ser usada para bombear o lodo hidrolisado para o seguinte processo de digestão

O Exelys ™ pode ser utilizado em várias configurações de processo. Normalmente, ele seria instalado antes da digestão, com todo o lodo ou apenas a fração de lodo secundário sendo hidrolisada antes da digestão (Exelys ™ -LD). Em cada caso, a capacidade de qualquer digestor existente pode ser aumentada, ou o gasto de capital em qualquer novo digestor, reduzido. Isso poderia fornecer ao operador a oportunidade de importar biosólidos para o local, aumentando assim a produção de biogás e gerando receita tanto de importação de lodo como de exportação de energia.

No entanto, se a capacidade do digestor não for um problema, o Exelys ™ pode ser incorporado em uma nova configuração de processo projetada para otimizar a geração e exportação de eletricidade. A configuração do processo é chamada Exelys ™ -DLD e envolve a incorporação do Exelys ™ entre dois digestores, como mostrado na Figura 2. Após a digestão primária, o volume de lodo é reduzido e a desidratação melhorada. Isso permite uma unidade Exelys ™ menor em comparação com o Exelys ™ -LD e menor necessidade de energia. O lodo hidrolisado é então novamente digerido possibilitando a recuperação do potencial de biogás remanescente no lodo. Todo o biogás pode ser usado para produção de eletricidade, com o calor residual sendo recuperado para operar o Exelys ™. Desta forma, a capacidade dos digestores não é melhorada, mas a recuperação de energia do lodo é ainda mais otimizada.

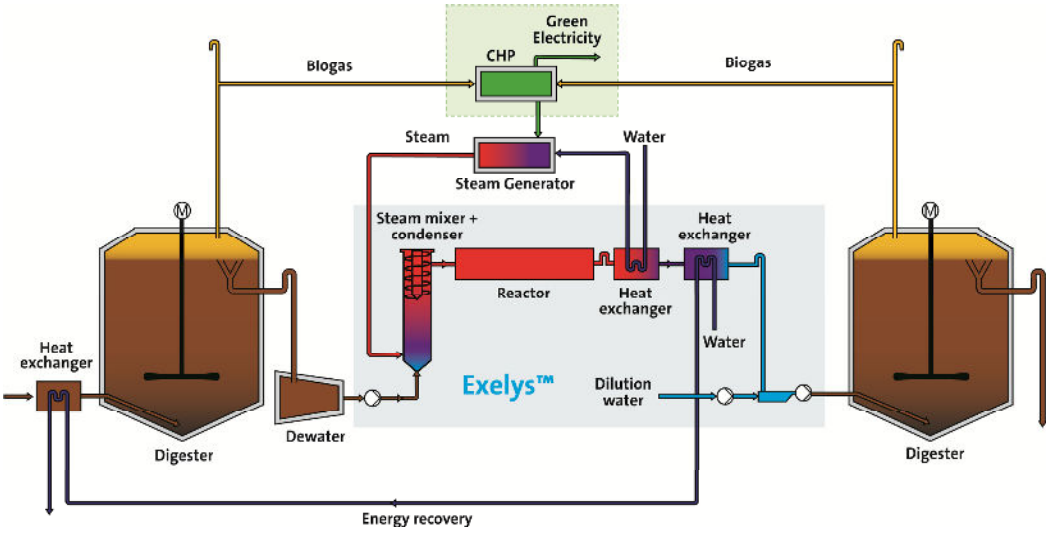

Figura 2: Ilustração da configuração de processo do Exely™-DLD

ESTUDO DE CASO – GRANDE ESTAÇÃO EUROPÉIA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Este artigo se concentrará em apresentar um estudo de caso comparativo de dois sistemas de tratamento de lodo. O processo operacional atual é a pasteurização do lodo, digestão termofílica, desidratação e descarte. O biogás é usado para produzir eletricidade e calor para o sistema de pasteurização.

A planta é relativamente nova e incorpora um sistema de tratamento de águas residuais moderno e eficaz. A vazão média de águas residuais de entrada é de 350.000 m3/dia. Da produção total de lodo, uma proporção significativa é o lodo ativado do processo de remoção biológica de nitrogênio. Normalmente, o potencial de biogás desse lodo é muito baixo e, portanto, o local é ideal para a aplicação do Exelys ™. Os cálculos realizados neste documento são baseados em dados de projeto e podem não refletir as condições operacionais atuais na fábrica. No entanto, eles fornecem uma base útil para trabalhar e fazer um estudo comparativo.

Embora a planta já incorpore uma maneira eficiente de obter o produto "lodo" necessário, com a aplicação do processo Exelys ™ isso pode ser melhorado novamente - produzindo um lodo adequado para compostagem e aplicação na agricultura, mas reciclando tanto quanto possível a energia potencial de volta à ETE.

METODOLOGIA UTILIZADA

ESCOPO

O foco principal deste estudo é determinar o potencial de produção de energia elétrica do sistema de tratamento de lodo. Esse potencial de produção de energia elétrica será então comparado a um consumo elétrico assumido para determinar o quão autossuficiente é o sistema de tratamento de lodo. Portanto, com relação ao escopo, supõe-se que o lodo espessado do atual tanque intermediário de pré-pasteurização seja a alimentação para o sistema. O produto final é a torta de lodo para descarte na compostagem.

Dois cenários de tratamento de lodo serão comparados:
1. A configuração atual do processo
2. Exelys ™ -DLD com primeira digestão termofílica seguida por digestão mesofílica

O processo Exelys ™ -DLD foi escolhido por produzir um produto completamente pasteurizado semelhante ao já produzido.

PARÂMETROS DE CÁLCULO

O lodo bruto tem as seguintes características, conforme mostrado na Tabela 1. As condições operacionais para os dois cenários comparativos são mostradas na Figura 3. Os dados usados nesta avaliação são dados de projeto e, portanto, é provável que os resultados calculados neste estudo variam do desempenho real visto hoje no site.

Tabela 1: Características dos lodos com base nos dados de projeto.

	Q (kg-TS/d)	VS (% TS)	Concentr. sólidos (% w/w)	Temperatura (°C)
Lodo primário	28.420	80	6	10
Lodo Ativado (WAS)	44.000	70	6	10
Lodo de Gorduras	12.180	80	6	10

Para a produção elétrica, a eficiência da unidade de energia térmica combinada de biogás (CHP) foi ajustada para 40%. O preço da eletricidade foi fixado em €0,096/kWh, excluindo o IVA (Energy.eu, 2010). O consumo de energia foi assumido como sendo 0,453 kWh/m3 de águas residuais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados do processo são apresentados para os dois cenários na Figura 3 e na Tabela 2. Os resultados indicam que a aplicação de um sistema Exelys ™ -DLD poderia ter um impacto positivo significativo produzindo mais biogás e eletricidade e produzindo menos lodo para descarte. A qualidade da torta de lodo após o processo Exelys ™ também é melhorada devido ao impacto do processo de hidrólise térmica. Com o atual desenho do processo, 49% da eletricidade necessária para toda a ETE é coberta pela eletricidade gerada pela produção de biogás. No entanto, se o processo Exelys ™ - DLD for implementado no local, o aumento do potencial de geração de energia elétrica significaria que 65% dos requisitos da ETE poderiam ser cobertos pela geração local de energia elétrica. Este é um passo significativo para a neutralidade energética no site.

Nesta avaliação, assume-se que a planta consome 0,453 kWh/m3 de águas residuais. No entanto, no futuro, através da implementação de, por exemplo, controle on-line, novas técnicas de aeração e remoção efetiva de SST antes do processo BNR (conforme mostrado na Figura 1), o requisito de energia elétrica desta estação de tratamento de águas residuais pode ser reduzido para 0,293 kWh/ m3 de águas residuais. Nesse caso, o sistema de processo atual poderia fornecer 76% da eletricidade necessária, enquanto que, se o Exelys ™ -DLD fosse aplicado, a usina poderia se tornar neutra em energia, ou seja, 100% das necessidades elétricas da usina poderiam ser fornecidas por eletricidade gerada localmente. Isso poderia ser melhorado ainda mais se uma célula de combustível de biogás fosse utilizada para gerar eletricidade em vez de um CHP, já que uma célula de combustível pode fornecer uma eficiência de geração elétrica de pelo menos 50%, comparado a 40% para um CHP.

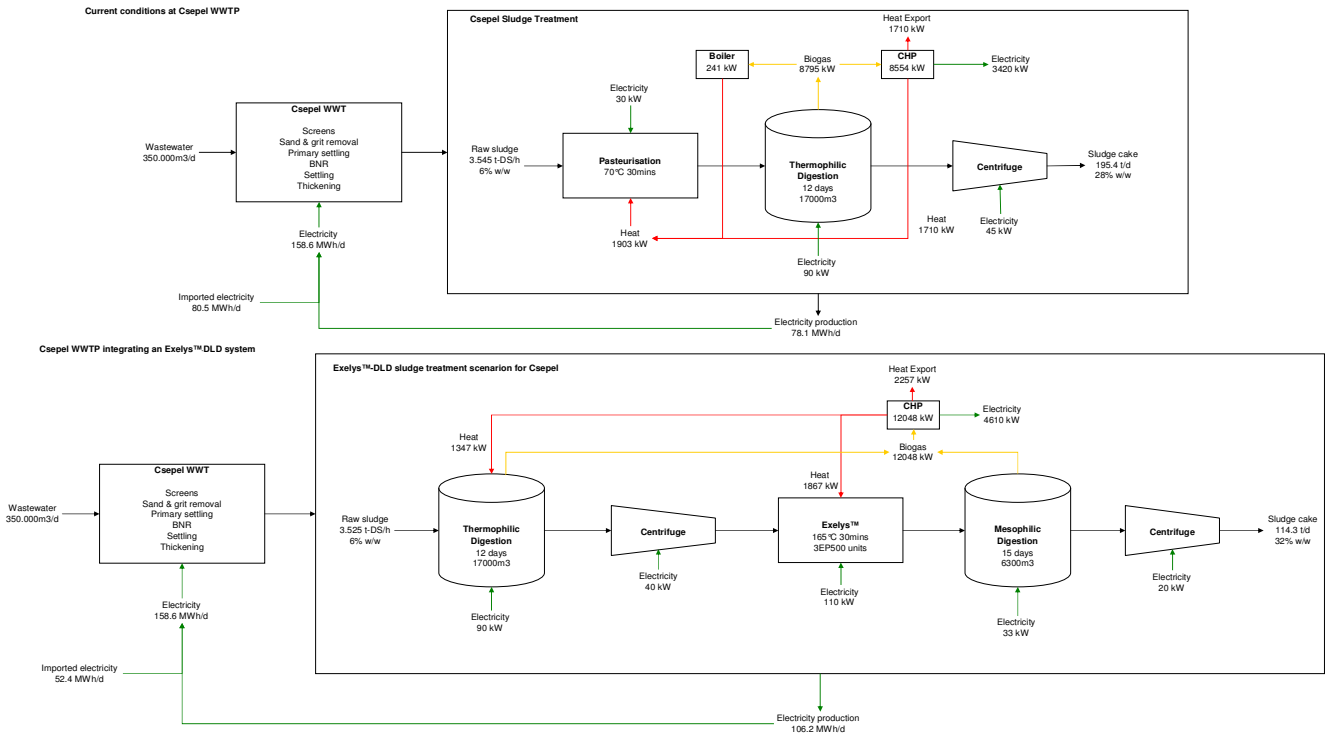

Figura 3: Resultados do cálculo do processo para os dois cenários. Superior - situação atual com pasteurização de lodo seguida de digestão termofílica e, em seguida, desidratação e descarte; Inferior - integração de um Exelys ™ -DLD com dupla digestão, hidrólise térmica e finalmente desidratação e descarte.

O resultado financeiro é também uma consideração importante para um operador de uma grande estação de tratamento de águas residuais. Mesmo com investimento de capital extra necessário para a opção Exelys ™ -DLD, o VPL (valor presente líquido) será significativamente melhor que a situação atual. O resultado para a situação atual é comum em grandes estações de tratamento de águas residuais, onde as economias causadas pela geração de energia elétrica local geralmente cobrem as despesas de energia para o restante da estação de tratamento de águas residuais. No entanto, fica claro que, ao instalar o Exelys ™ -DLD, a economia potencial de energia realmente gera um valor positivo quando se olha para as finanças relativas à energia. Este é um importante passo à frente, pois indica que isso é possível através da aplicação de uma solução de processo único, como o Exelys ™, para mudar a paisagem financeira em uma grande estação de tratamento de águas residuais. Conforme mostrado na Tabela 2, quando se olha para a otimização futura e de longo alcance de todo o processo de tratamento de águas residuais, todos os requisitos energéticos para a estação de tratamento de águas residuais podem ser cobertos pela geração local a partir do biogás. Isso, na verdade, remove um dos maiores custos financeiros de uma estação de tratamento de águas residuais e representa uma mudança significativa na forma como estas estações devem ser vistas - como fontes potenciais de renda do ponto de vista energético, em vez de encargos financeiros. Uma vez que um sistema tributário efetivo de carbono esteja implantado e aplicado, a estação de tratamento de esgotos com energia neutra, terá um potencial ainda maior de gerar renda para o operador.

Tabela 2: Resultados da avaliação comparativa de energia elétrica.

		Situação Atual	Exelys™-DLD	ETE otimizada em energia
Eletricidade Economizada	MWh/d	78	106	106
	€/yr	2.700.000	3.700.000	3.700.000
Electrical self-sufficiency	%	49	65	100
Electricity import	MWh/d	80	52	0
	€/yr	2,800,000	1,800,000	0
Digester volume	m^3	17.000	23.300	23.300

CONCLUSÕES

A mudança de paradigma em grandes estações de tratamento de águas residuais para instalações de produção de energia apresentará uma série de oportunidades para melhorar não apenas seu perfil ambiental, mas também seu desempenho financeiro. E, à medida que os preços da energia e do carbono aumentam, mesmo as estações de tratamento de águas residuais recentemente construídas podem precisar reavaliar o que levará seu desenvolvimento ao futuro. O objetivo deste artigo foi mostrar que esse desenvolvimento pode ocorrer de maneira financeiramente responsável.

Uma área chave onde a energia pode ser reciclada de volta para a estação como eletricidade é através da digestão aprimorada de lodo. O desenvolvimento do eficiente e efetivo processo de hidrólise térmica Exelys ™ agora proporciona às grandes estações de tratamento de águas residuais a oportunidade de otimizar de maneira econômica o processo de digestão, levando a uma maior renda e custos mais baixos. Uma ETE europeia moderna foi usada como um estudo de caso para comparar a tecnologia atual de bom desempenho com o potencial do processo Exelys ™ -DLD.

OS PRINCIPAIS RESULTADOS DESSA AVALIAÇÃO SÃO:

- A configuração do processo Exelys ™ -DLD fornece uma série de benefícios, mesmo quando comparada a um sistema de digestão tradicional com bom desempenho.
- A configuração atual do processo pode fornecer 49% da necessidade total de energia da planta. Através da implementação do Exelys ™ -DLD sozinho, isso pode ser aumentado para 65%.
- Os resultados indicam que novas grandes estações de tratamento de águas residuais poderiam se beneficiar financeiramente e ambientalmente, investigando as oportunidades possíveis em tecnologia de digestão aprimorada, como o Exelys ™ -DLD.
- Ao olhar para o futuro, um processo otimizado de tratamento de águas residuais seguido por um processo Exelys ™ -DLD pode levar grandes ETEs a serem completamente neutras em energia elétrica. Isso leva a uma maior sustentabilidade financeira, que será melhorada ainda mais quando a tributação do carbono for aplicada às estações de tratamento de águas residuais.

REFERÊNCIAS

1. Chauzy, J.; Graja, S.; Gerardin, F.; Cretenot, D.; Patria, L. and Fernandes, P.. (2005) Minimisation of excess sludge production in a WWTP by coupling thermal hydrolysis and rapid anaerobic digestion. Water Science and Technology, 52(10), 255.
2. Climent, M.; Ferrer, I.; del Mar Baeza, M.; Artola, A.; Vazquez, F. and Font, X.. (2007) Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions. Chemical Engineering Journal, 133, 335.
3. Dwyer, J.; Starrenburg, D.; Tait, S.; Barr, K.; Batstone, D. and Lant, P.. (2008) Decreasing activated sludge thermal hydrolysis temperature reduces product colour, without decreasing degradability. Water Research, 42, 4699.
4. Energy.eu (2010). Industrial electricity rates – 24.000 MWh/year. Updated September 2010. Accessed 28 February 2011.
5. Fdz-Polanco, F.; Velazquez, R.; Perez-Elvira, S.; Casas, C.; del Barrio, D.; Cantero, F.; Fdz-Polanco, M.; Rodriguez, P.; Panizo, L.; Serrat, J. and Rouge, P.. (2008) Continuous thermal hydrolysis and energy integration in sludge anaerobic digestion plants. Water Science and Technology, 57(8), 1221.
6. Gavala, H.; Yenal, U.; Skiadas, I.; Westermann, P. and Ahring, B.. (2003) Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge: Effect of pre-treatment at elevated temperatures. Water Research, 37, 4561.
7. Jolis, D.. (2008) High-Solids Anaerobic Digestion of Municipal Sludge Pretreated by Thermal Hydrolysis. Water Environment Research, 80(7), 654.
8. Kim, J.; Park, C.; Kim, T.; Lee, M.; Kim, S. and Lee, J.. (2003) Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge. Journal of Bioscience and Bioengineering, 95, 271.
9. Panter, K.. (2009) Comparison of centrifuge and belt press for compressible digested sludge after thermal hydrolysis. 14th European Biosolids and Organic Resources, Aqua Enviro Technology Transfer, Wakefield, UK.
10. Perez-Elvira, S.; Diez, P. and Fdz-Polanco, F.. (2006) Sludge minimisation technologies. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 5, 375.
11. Phothilangka, P.; Schoen, M. and Wett, B.. (2008) Benefits and drawbacks of thermal pre-hydrolysis for operational performance of wastewater treatment plants. Water Science and Technology, 58(8), 1547.
12. Weemaes, M. and Verstraete, W.. (1998) Evaluation of current wet sludge disintegration techniques. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 73, 83.