

AFSLUTTENDE RAPPORT

Fuldskala demonstrationsprojekt af nyt anti-fouling koncept for pladevarmevekslere

Hen over fyringssæsonen ophober en belægning sig på vekslerpladerne for røggaskondensatsystemet hos kraftvarmeværket VERDO i Randers. Belægningen – også kaldet fouling – reducerer varmeledningsevnen og virkningsgraden for energigenindvinding.

FoulingCure ApS har udviklet og patenteret et nyt anti-fouling system for pladevarmevekslere. Systemet er installeret som fuldskala demonstration, på VERDO som har 4 pladevarmevekslere for genindvinding af energien ved røggaskondensering.

Projektet er støttet med 500.000, - kroner fra ELFORSK Særpulje 2019. Projektet sluttede foråret 2021 og har projekt nr. 351-057.

VERDO har 2 kedler for afbrænding af flis, hver med en nominal kapacitet på 95 MW. Vanddampen i røggassen kondenseres og ledes til pladevarmevekslere for at veksle energien fra røggaskondensatet til fjernvarmevandet som kommer afkølet retur fra byen. Her bliver det forvarmet inden yderligere opvarmning fra kedlerne.

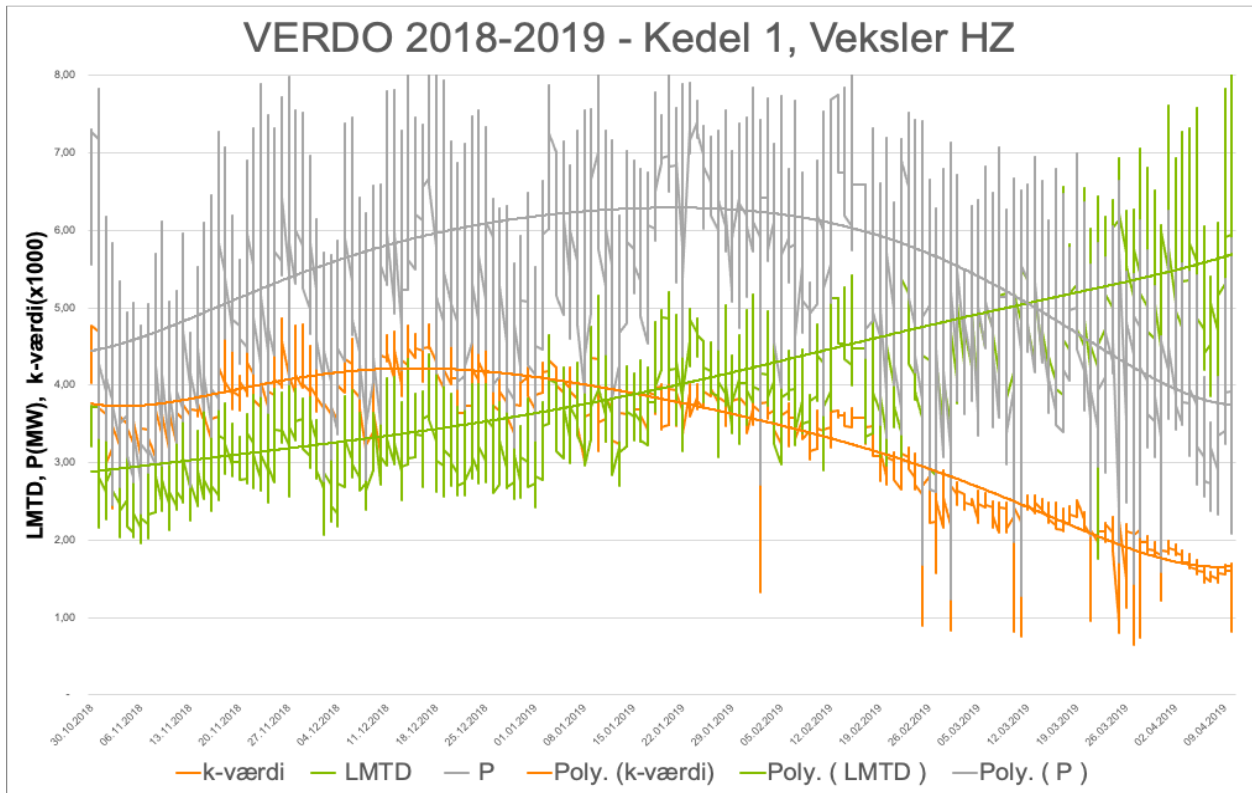
Erfaringer viser at fouling får en negativ målbar effekt på varmeledningsevnen efter 3 til 6 ugers drift og forringes indtil veksleren igen serviceres.

Hos VERDO var der konstateret kraftige belægnings på pladerne ved det årlige service.



Figur 1: Kraftig Fouling på Pladevarmevekslerplader hos VERDO sæson 2018-2019..

Udtræksdata fra fyringssæson 2018-2019 blev behandlet for evaluering af problemet.



Figur 2: Udvikling i K-værdi (varmeledningsevnen for denne veksler) fra oktober 2018 til april 2019. Den stigende LMTD (grønne linje) betyder dårligere afkøling af kondensatet og dermed faldende K-værdi (orange linje). Den grå graf er Effekten henover fyringssæsonen. Den højeste ydelse er dec.-jan.-feb.

Beregning af energitab:

Med udgangspunkt i Figur 1 og beregninger, vurderes at den manglende genvundne energi over en Fyringssæson er 8,2% som anvendes for efterfølgende beregninger.

Det forudsættes at de 2 kedler på VERDO hver har 265 driftsdage pr. år.

Genvundet energi: Middel værdi over en hel fyringssæson 4,87MWh pr. veksler (4 stk.)

Manglende genvundet energi: 265 dage x 0,082 x 4,87MWh x 4 stk. x 24 timer = 10.160 MWh pr. år.

10.160 MWh/år er energipotentialt hvis kondensatvekslerne kan renholdes.

Teorien bag FoulingCure.

God ydelse på en pladevarmeveksler kræver stort varmeoverførende areal (hos VERDO ca. 412 m²). Et stort pladeareal betyder lav flowhastighed, derfor er veksleren det sted i kondensatsystemet hvor flowhastigheden er lavest og snavs vil opbygges.

Et godt varmepladedesign skaber turbulens når væsken løber over vekslerpladerne for optimalt at afgive/optage energi via pladen. Denne turbulens sørger også for, at skidt skylles af pladerne, dette fænomen kaldes den selvrensende effekt.

Teorien bag FoulingCure systemet (se APPENDIKS):

- Den selvrensende effekt er en funktion af Wall Shear Stress (T), eller modstanden som dannes mellem væskekontakt og vekslerpladen. Større turbolens => Større selvrenseeffekt.
- Wall Shear Stress (T) er ligefrem proportional med differenstrykket (Δp) over veksleren.
- Differenstrykket Δp stiger eksponentiel ved øget væskeflowhastighed (ω)

***Fordobles flowhastigheden over vekslerpladerne, 4-dobles selvrenseeffekten
Tredobles flowhastigheden over vekslerpladerne, 9-dobles selvrenseeffekten***

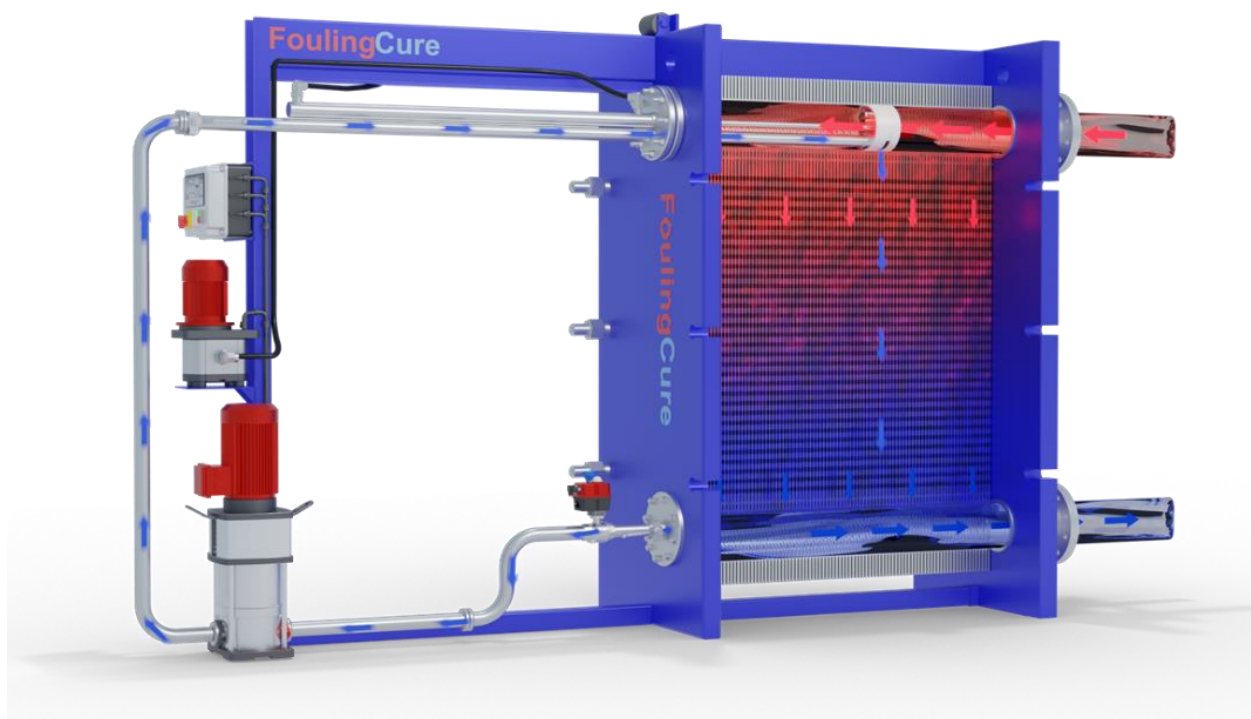
Det er sjældent muligt eller hensigtsmæssigt at 2-3 doble flowhastigheden over hele veksleren vha. fødepumpen

FoulingCures teknologi er baseret på 200-300% øget flowhastighed, men kun over 3 kanaler og via en ekstern pumpe. Derved opnår FoulingCure systemet en stigning i selvrenseeffekten på 400% - 900%.

FoulingCure har fordelen, at renseprocessen sker imens veksleren er i drift og uden driftstab eller stop.

Rensesekvensen er på time- eller dagsbasis eller efter behov og sikrer løbende renhold af pladerne før skidt ophober sig.

Nedenstående figur er en principskitse for hvordan FoulingCure skaber renholdelse henover 3 pladekanaler med øget flowhastighed via en ekstern pumpe, samtidig med at veksleren er i drift.



Figur 3: Pladevarmeveksler monteret med FoulingCure.

I nedenstående ses FoulingCure under montage på pladevarmeveksler hos VERDO. FoulingCure monteres på det bevægelige dæksel af pladevarmeveksleren og får dermed adgang til indløbskanalen fra "bagsiden".



Figur 4: FoulingCure montage på bagsiden af pladevarmeveksler.

Formålet med det ELFORSK støttede projekt er, at eftervise om FoulingCure systemet i en pilotinstallation kan skabe den selvrensende effekt på vekslerne og renholde for fouling fra røggasskrubbersystemet.

Den første kondensatveksler hos VERDO blev forberedt og ombygget i februar 2020 og FoulingCure systemet blev påmonteret kondensatveksler i marts 2020.

Efter nogle justeringer og optimeringstiltag kørte anlægget uden mekaniske problemer. FoulingCure systemet spuler vekslerpladerne én gang i timen med en spulehastighed på ca. 2,5 gange det normale flow, svarende til en ca. 6-dobling af den selvrensende effekt. Sekvensen på én time holdes indtil det er eftervist at FoulingCure har den ønskede effekt, derefter vil intervallet blive indreguleret baseret på faktiske målinger. Sideløbende med FoulingCure installationen havde VERDO mulighed for at øge hovedpumpen for kondensat-flowet med 20%.

Efter en driftsperiode på nogle måneder med FoulingCure systemet, kunne desværre konstateres nogen fouling. Men de udlæste data havde så stor unøjagtighed, at vi ikke kunne konkludere på denne baggrund. Over sommeren 2020 blev dataopsamlingsystemet gransket, og det lykkedes at reducere dødbåndet på målingerne i VERDOs SRO-styresystem, således at datanøjagtigheden blev acceptabel. Det ses i nedenstående figur som store og mindre udsving før og efter sommerrevision.

Under sommerrevision blev det konstateret på de 3 øvrige veksler taget ud til service og ombygning, at aflejringer som i sæson 2018-2019 var blevet reduceret. Dette skyldes det 20% øgede flow på kondensatsiden fra hovedpumpen.

Efter sommerrevision blev FoulingCure system nr. 2 idriftsat, har blev valgt at indsætte en større FoulingCure pumpe for at se om vi kunne fjerne den konstaterede fouling.

FoulingCure installation nr. 2 blev benchmark op i mod en veksler uden FoulingCure.

Efter nogle måneders drift klarede FoulingCure veksleren sig lidt bedre end systemet uden FoulingCure,

men begge vekslere foulede. VERDO havde tidligere fået analyseret det aflejrede materiale, hvor det fremgik at 93% var organisk materiale.

VERDO har ikke vandbehandling på kondensatsystemet, så ved de rette betingelser for temperatur, pH og vedvarende tilførsel af organisk materiale, kan den organiske belægning udvikle bakterier som resulterer i en biofilm på pladerne. Bare 0,1mm biofilm reducerer varmeovergangen med op til 60%

Med den store pumpe på FoulingCure var det muligt at spule "partikel belægning/fouling" væk, men biofilm kunne ikke fjernes.

Der blev derfor gennemført et forsøg, hvor veksleren blev afspærret og desinficeret med Klorin i 25 minutter samtidig med FoulingCure systemet var aktiveret. Efterfølgende var veksleren ren som nyserviceret og ydede 100%

VERDO testede efterfølgende samme koncept med Klorin på veksleren uden FoulingCure.

Pga. det specielle setup hos VERDO med parallelle vekslere, var det muligt at "simulere FoulingCure" ved at aflukke en parallelle veksler og flushe med 140% flow med hovedpumpe i 1-2 timer. Tilsvarende positivt resultat blev opnået.



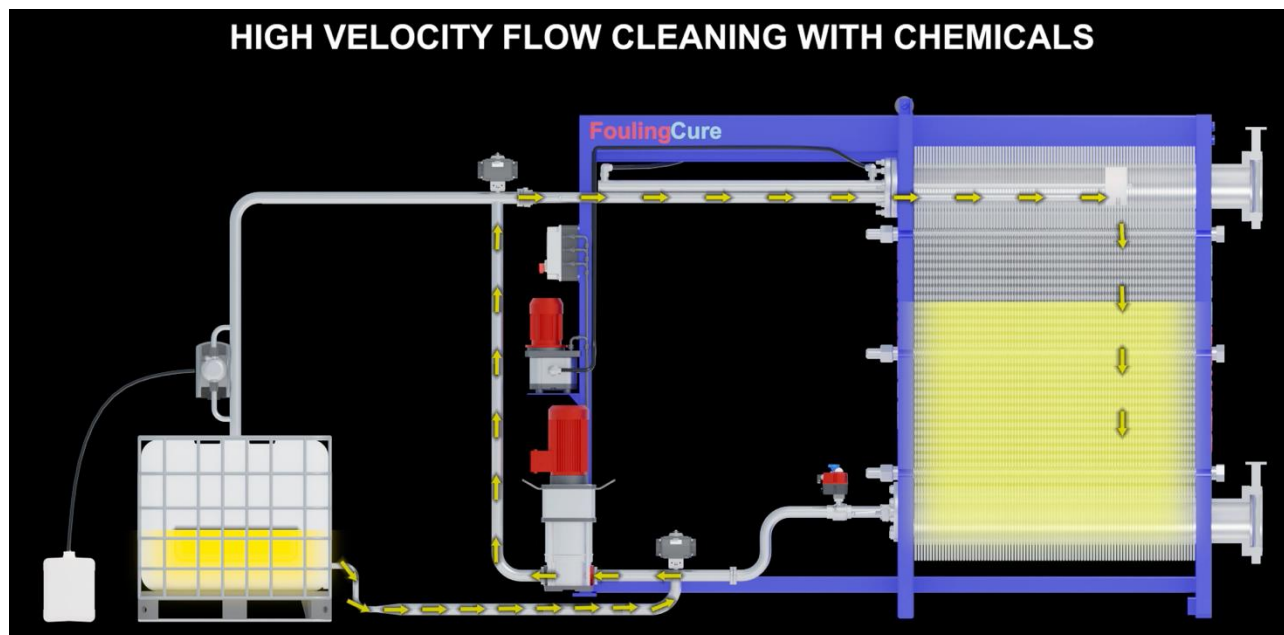
Figur 5: Udvikling i K-værdi, den gule linje (varmeledningsevnen for denne veksler) fra februar 2020 til april 2021 på pladevarmeveksler med FoulingCure.

Fouling udvikling ses som den brune linje i nederste graf. Dog er denne Fouling-procenten afhængig af effekten på veksleren. Ved lav last stiger Fouling procenten som, det ses lige efter sommerperioden.

Det kræver derfor tæt på fuld last på veksler en når data i forskellige periode skal sammenlignes.

Det er dog tydeligt at CIP har en positiv effekt.

FoulingCure med integreret CIP-system.



Figur 5: FoulingCure konceptet kan udbygges med integreret og automatiseret CIP-system for evt. biofilm.

Det fulde energisparerpotentiale på 10.200 MWh forventes at blive opnået i næste fyringssæson.

FoulingCures konklusion på pilotinstallation:

- Det havde en positiv effekt at VERDO øgede hoved-flowet med 20% i forhold til sæson 2018-2019
- Ved sammenligninger af udtræksdata i 2021 hos VERDO mellem kondensatvekslerne med og uden FoulingCure installeret, kunne vi se en lille øget fouling på den uden FoulingCure.
Vi vurderer derfor at:
 - 1/3 er belægnings-fouling kan fjernes med FoulingCure
 - 2/3 er biofilm/bakterie-fouling og kræver CIP.
- VERDO opnår en årlig driftsbesparelse på ca. 2,6 mio. kr./år i reduceret forbrug af brændsel og servicering af vekslerne.
- FoulingCure bør udbygges med vores CIP-modul for at fjerne bakterievækst ca. hver 6. uge, hvis der ikke findes en anden løsning til at fjerne bakterievækst.

Serviceomkostninger reduceres

Ved komplet service af røggasvekslerne én gang årligt, skilles og rengøres røggasvekslerne, så ydelsen bliver reetableret. Ved installation af FoulingCure er den årlige service ikke længere nødvendig. Der forventes at fremtidigt servicebehov på de to kondensatvekslere hos VERDO kan reduceres til hvert 7. år, svarende til en besparelse på ca. 420.000 kr. årligt minus service på FoulingCure på ca. 20.000 kr. årligt. Så i alt en årlig servicebesparelse på. $400.000 - (400.000/7) = 360.000$ kr.

Hvor kan FoulingCure med fordel anvendes

FoulingCure kan monteres på alle typer pladevarmevekslere som er udsat for fouling og uanset fabrikat. Størst effekt er pladevarmevekslere hvor pladevarmeveksleren har "åbne" ubehandlet væskesystemer som f.eks. ved havvand, søvand, å-vand, spildevand, grundvand, vand fra damlager eller røggaskondensat. Netop disse er også fremtidens energikilder for de store varmepumpeinstallationer.

Økonomisk konsekvens:

Med udgangspunkt i det tidligere beregnede energitab hos VERDO, stiger genvundet energi med ca. 8,2% som gennemsnit over hele fyringssæsonen, svarende til ca. 10.160 MWh pr. år. Den årlige besparelse på indkøb af flis (ved 220 kr./MWh) vil være ca. 2.235.000, - kr./år

Derudover reduceres behovet for service af pladevarmevekslerne med ca. 420.000 kr./år. Dog vil der årligt være serviceudgifter for FoulingCure på Ca. 20.000 Kr./år, og den årlige besparelse vil være ca. 360.000, - kr./år

Den samlede fremtidige driftsmæssige besparelse for VERDO forventes at være ca. 2.600.000 kr. / år. Samt en reduktion af Co2 udledning på ca. 2.000 tons.

Konklusion

Der er i dette projekt eftervist at fouling kan elimineres ved brug af FoulingCure i kombination med klorin behandling for desinfektion af bakterievækst. Den fulde besparelse og reduktion af CO₂ udledning er opnået.

VERDO har dog ikke ladet de to sidste FoulingCure lanser montere, da de har en forventning om at kunne renholde deres vekslerne ved CIP og øget hovedpumpe flow. Hvis partikelfouling opstår kan FoulingCure lansen flyttes mellem vekslerne ved service.

APPENDIKS

Theory of Fouling in Plate Heat Exchanger

- **Fouling rate** is the difference between Deposition rate (how fast the deposits build up) and the Removal rate (how fast the deposit can be removed)
- **Deposition rate** is a function of process conditions:
Fluid properties, wall temperatures and wall surface roughness
- **Removal rate** is a function of the wall shear stress that the fluid exerts on the heat transfer wall.
 - *Shear stress (T) is directly proportional to the pressure drop (Δp) in the heat exchanger.

$$T = \Delta P \times D / 2 L$$

-> Increasing pressure drop (Δp) increases shear stress (T) or fouling removal rate 1:1

- Pressure drop (Δp) $\Delta p = 4 f_{ch} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} \cdot \frac{L}{D_e}$, $\Rightarrow \Delta p = X \times \omega^2$

-> *Increasing fluid velocity ω increases the pressure drop (Δp) by ω^2

Conclusion:

Increasing fluid velocity ω , increases (T) or Fouling Removal / Cleaning effect by ω^2

* www.heatexchange.org Heat Exchange Institute Incorporated - Tech Sheet #141

FoulingCure