

# **Fuldskala demonstrationsprojekt af nyt anti-fouling koncept for pladevarmevekslere**

**F&U projekt nr. 2019-15**

Gennemført i samarbejde med Aabenraa-Rødekro Fjernvarme

## Indledning

Hen over fyringssæsonen ophober en belægning sig på vekslerpladerne for røggaskondensatsystemet hos Aabenraa-Rødekro Fjernvarme. 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 fuld skala demonstration, på Aabenraa-Rødekro Fjernvarme som har 2 pladevarmevekslere for genindvinding af energien ved røggaskondensering.

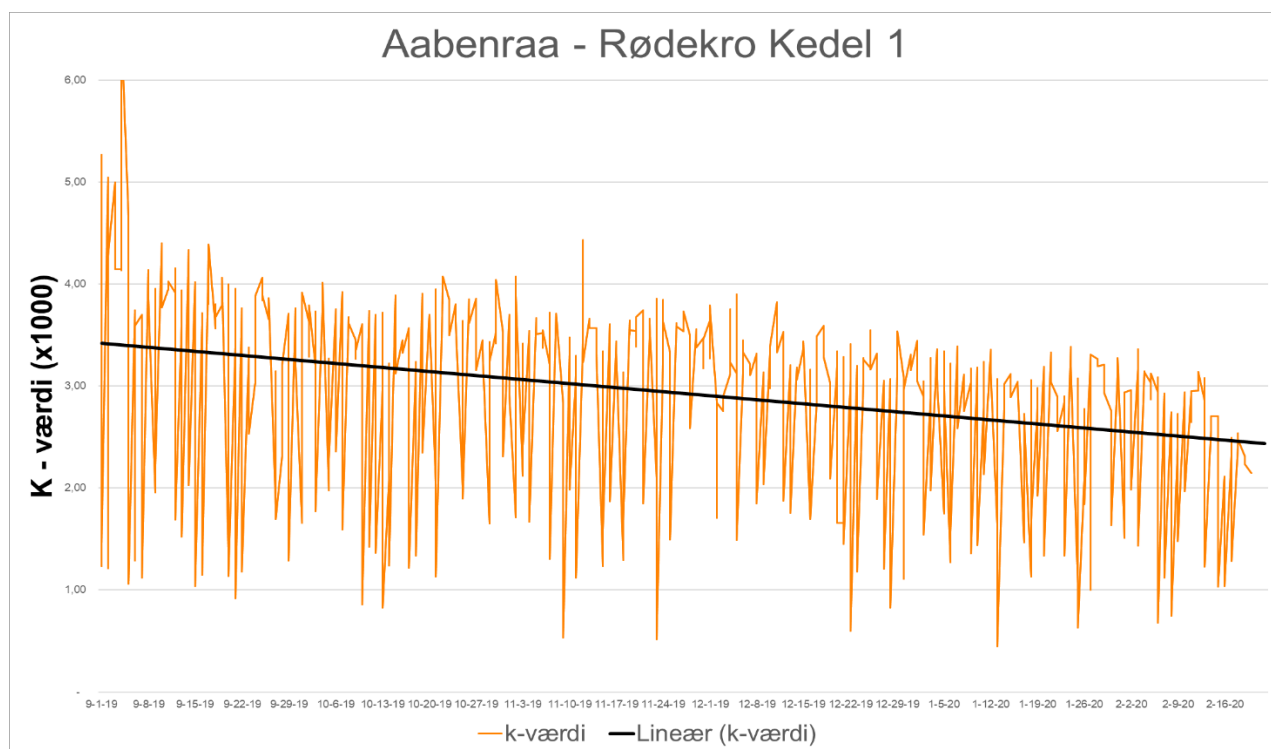
Projektet er støttet med 250.000, - kroner fra Dansk Fjernvarme F&U-Konto.

## Projektet hos Aabenraa-Rødekro Fjernvarme

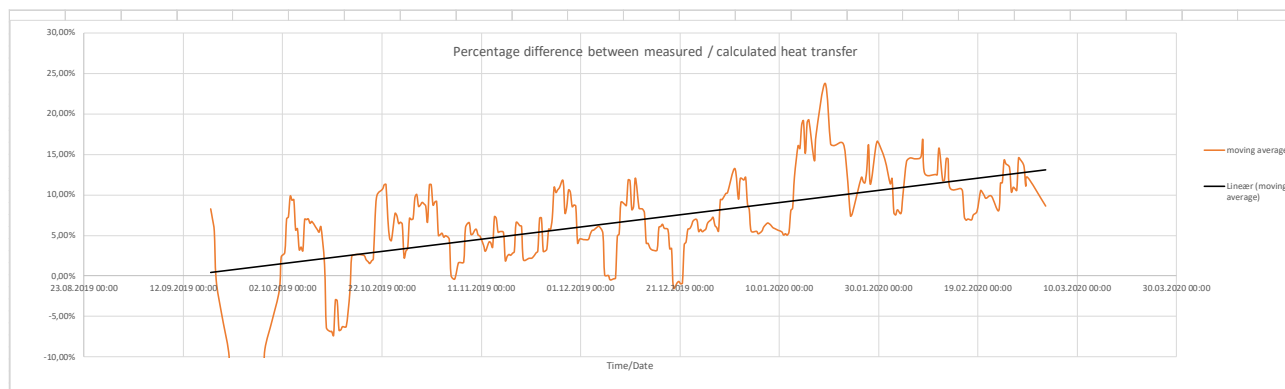
Aabenraa-Rødekro Fjernvarme har 2 kedler for afbrænding af flis, hver med en nominel kapacitet på 15MW. Røggassen kondenseres og ledes til pladevarmevekslere for at veksle energien fra røggaskondensatet til fjernvarmevandet som kommer retur fra byen og bliver her forvarmet inden yderligere opvarmning fra kedlerne.

Til trods for cykloner/filtre på røggassen opsamles partikler i kondensatet hvor det aflejres i pladevarmeveksleren. Erfaringer viser at fouling får en negativ målbar effekt på varmeledningsevnen efter 3 til 6 ugers drift og forringes indtil veksleren igen serviceres.

Hos Aabenraa – Rødekro Fjernvarme blev indsamlet data fra fyringssæson 2019-2020 for at evaluere problemet.



Figur 1: Udvikling i K-værdi (varmeledningsevnen for denne veksler) uden FoulingCure system for en i 24 ugers periode (25/9-2019 til 15/3-2020 fra data i fyringssæsonen 2019 - 2020)



Figur 2: Udvikling i den procentvise afvigelse af den beregnede og faktiske varmeoverførsel i 24 ugers periode (25/9-2019 til 15/3-2020 fra data i fyringssæsonen 2019 - 2020).

Tilsvarende grafer for udvikling i  $\Delta T_1$  &  $\Delta T_2$  samt LMTD findes i APPENDIKS A

### Beregning af energitab:

Med udgangspunkt i Figur 2 vurderes, at den manglende genvundne energi over en periode på 47 uger er mellem 10-12%. 10% anvendes for efterfølgende beregninger.

Det forudsættes at de 2 kedler på Aabenraa-Rødebro Fjernvarme hver har 310 driftsdage pr. år.

Genvundet energi: Middel værdi over en hel fyringssæson 1,88MWh pr. veksler (2 stk.)

Manglende genvundet energi: 310 dage x 0,11 x 1,88MWh x 2 stk. x 24 timer = 3.077 MWh pr. år.

**3.077 MWh/år er energipotentialet hvis de 2 kondensatvekslere renholdes med FoulingCure**

### Teorien bag FoulingCure

God ydelse på en pladevarmeveksler kræver stort varmeoverførende areal (hos Aabenraa-Rødebro Fjernvarme ca. 400 m<sup>2</sup>). Et stort pladeareal betyder lav flowhastighed, derfor er veksleren det sted i kondensatsystemet hvor flowhastigheden er lavest og snavs vil ophobes.

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 B):

- Den selvrensende effekt er en funktion af Wall Shear Stress (T) som dannes mellem væskekontakt og vekslerpladen. Større turbulens => Større selvrenseeffekt.
- Wall Shear Stress (T) er ligefrem proportional med differenstrykket ( $\Delta p$ ) over veksleren.
- Differenstrykket  $\Delta p$  stiger eksponentiel ved øget væskeflowhastighed ( $\omega$ )

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

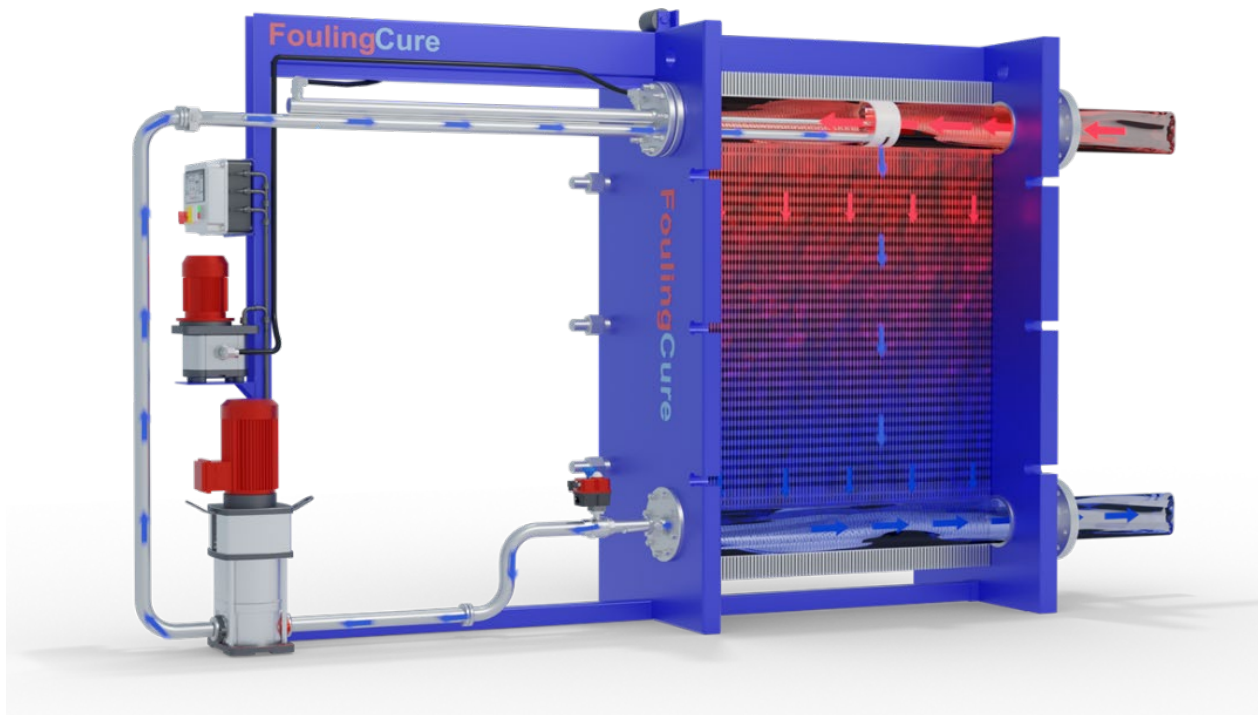
Det er sjældent muligt eller hensigtsmæssigt at 2-3 doble flowhastigheden over hele veksleren vha. fødepumpen

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 renseproces sker imens veksleren er i drift og uden driftstab eller stop.

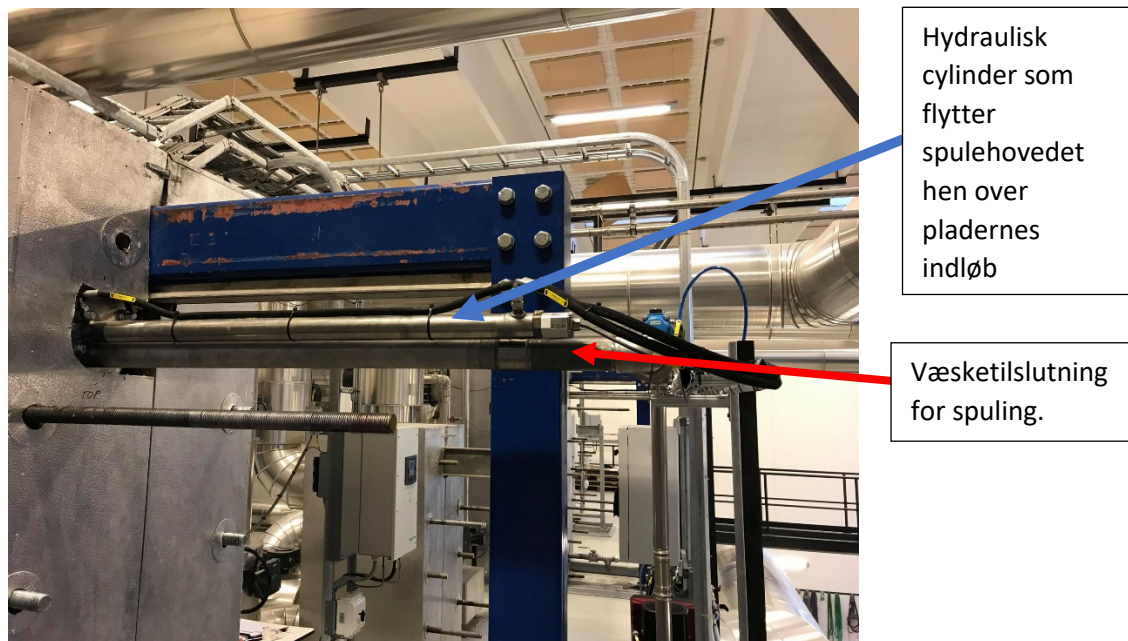
Rensesekvensen er time- eller dagsbasis efter behov og sikrer løbende renhold af pladerne før skidt ophober sig.

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 systemet monteret på pladevarmevekslerne i Aabenraa-Rødekro fjernvarme. FoulingCure monteres på det bevægelige dæksel af pladevarmeveksleren og får dermed adgang til indløbskanalen fra "bagsiden".

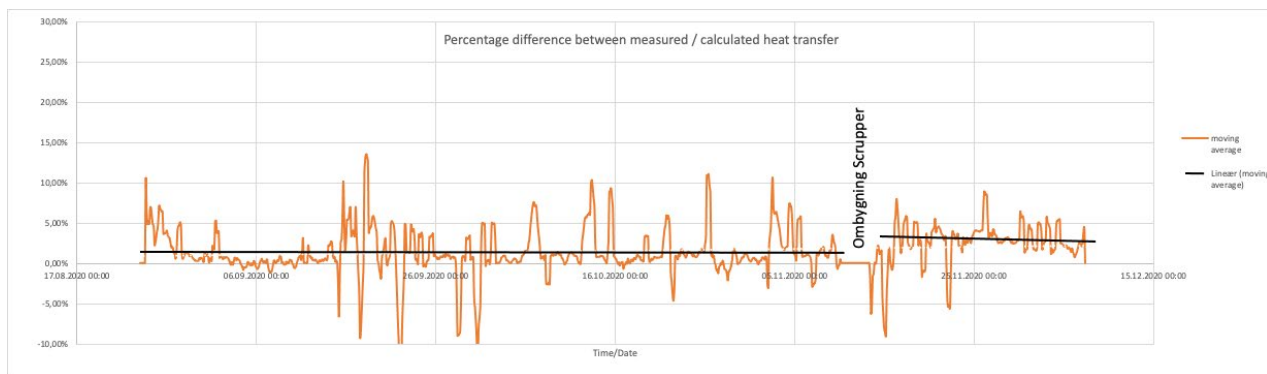


Figur 4: FoulingCure montage på bagsiden af pladevarmeveksler.

Formålet med K&U projektstøtte er, at eftervise om FoulingCure systemet i en pilotinstallation kan skabe den selvrensende effekt på vekslerne og renholde for partikler fra røggasskrubbersystemet.

Efter en forsinket opstart grundet COVID19, blev FoulingCure påmonteret to veksler hos Aabenraa-Rødekro varmeværk. Veksler 1 blev idriftsat 24. August 2021 og Veksler 2 blev idriftsat 17. september. Begge anlæg har kørt 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.

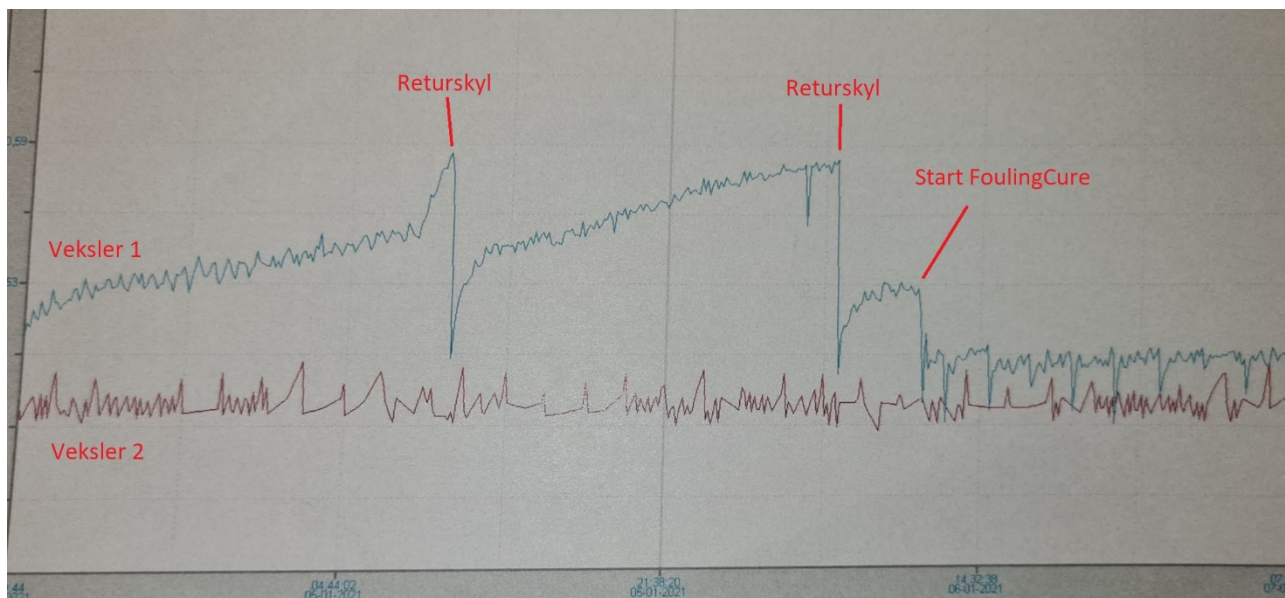
Efter en driftsperiode på 11 uger med FoulingCure systemet, er der ikke registreret nogen fouling på pladerne. Den faktisk overførte energi er stadig den samme som den beregnede energi. Historisk hos Aabenraa-Fjernvarme konstateres fouling efter 6 uger, men fouling opstår over en lang periode. Det endelige resultat vil kunne præsenteres ved afslutningen af fyringssæsonen i juni 2021. Det forventes dog at FoulingCure vil holde veksleren ren hele fyringssæsonen og derved forventes det fulde potentiale på 3077 MWh at blive nået.



Figur 5: Veksler med FoulingCure system. (periode 11 uger, fra 24/8 til 9/11 2020) Udvikling i den procentvise afvigelse mellem den beregnede og faktiske varmeoverførsel.

### Reduktion af fouling ved brug af Returskyl (Back flushing) kontra FoulingCure.

Grundet fouling har Aabenraa-Rødekre Fjernvarme tidligere fået monteret et back flush system for renholdelse af deres kondensat veksler. For overvågning af Pladevarmevekslerens tilstand er der monteret differens trykmålere på kondensat siden. Når differens trykket stiger er det en indikation af at pladevarmeveksleren er foulet, og det er tid til at back flushe pladevarmeveksleren. På figuren nedenfor ses to grafer som viser differens trykket over veksler 1 og veksler 2. Det ses at fouling af veksler 2 stiger med tiden, og at fouling kan reduceres ved returskyl, men at foulingen hurtigt stiger igen, samt at det ikke er muligt at få foulingen ned på et acceptabelt niveau. Ved start af FoulingCure systemet ses det straks at foulingen reduceres yderligere, og forbliver på et lavt niveau, da veksler 1 nu renholdes imens den er i drift med en cyklus på ca. hver 3. time. Veksler 2 renholdes med FoulingCure i hele perioden.



Figuren viser differensstrykket over Veksler 1 og Veksler 2, med og uden aktivt FoulingCure system.

## Optimering af røggaskondensatsystemet og projekterfaring.

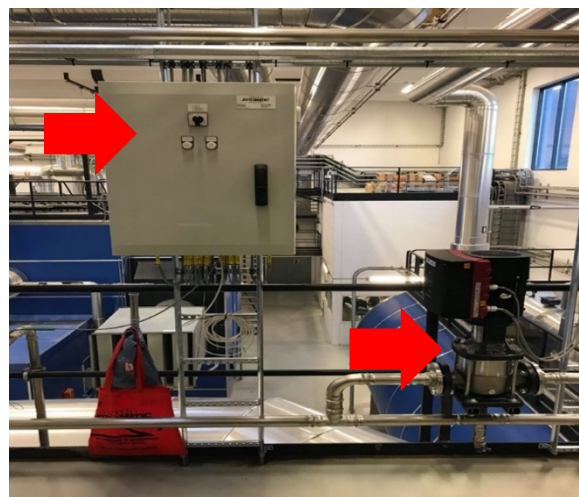
I jagten på at udnytte al energien fra røggasskrubberen, blev der af varmekædet konstateret fejl ved overrislingen i røggasskrubberen. Kedlen blev lukket ned d. 9/11 og en ombygning blev foretaget. Desværre resulterede glasfiberarbejde på skrubberen i, at glasfiberflager (5 til 50mm) fandt vej til pladevarmeveksleren ved opstart d. 14/11. Det var derfor nødvendigt at demontere FoulingCure systemet for at fjerne glasfiberen. Samtidig vendtes flowretningen på FoulingCure til sugeseffekt (returskyl) i et forsøg på at suge de små glasfiberpartikler op fra vekslerkanalerne. I returskyl-mode er spulehastigheden lidt lavere, svarende til en 5-dobling af selvrenseseffekten.

På grafen ses tilstopning af veksleren med glasfiber som springet i grafen omkring skrubber-ombygning. Heldigvis ses en lille aftagende Fouling tendens i perioden efter, som tilskrives FoulingCure sugeseffekt der løsner små glasfiberpartikler over tid.

FoulingCure systemet anvender en hydraulikpumpe (figur 6) til at bevæge spulehovedet frem og tilbage over pladernes indløb. En eksternpumpe (figur 7) skaber øget væskeflow over pladerne.



Figur 6: Hydraulisk pumpe for drift af hydraulisk cylinder.



Figur 7: Styreskab og Pumpe for højhastighedsspuling.

## 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 Aabenraa-Rødekro Fjernvarme kan reduceres til hvert 5. år, svarende til en besparelse på ca. 160.000 kr. årligt.

Service på FoulingCure estimeres til 15.000 kr. årligt.

## Hvor kan FoulingCure med fordel anvendes

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

Der opstår også fouling i de store fjernvarmenet-vekslere til trods for at der er behandlet vand på begge sider, dette problem vil der blive analyseret i nær fremtid og FoulingCure ApS undersøger netop nu muligheder for test og et demonstrationsprojekt.

### **Økonomisk konsekvens:**

Med udgangspunkt i det tidligere beregnede energitab hos Aabenraa Rødekro Fjernvarme, stiger genvundet energi med ca. 10% som gennemsnit over hele fyringssæsonen, svarende til ca. 9,9 MWh pr. døgn ved gennemsnitsdrift tid på 310 døgn pr. år og 3077 MWh pr. år—Den årlig besparelse på indkøb af flis (ved 160 kr./MWh) vil være ca. 490.000, - kr./år

Derudover reduceres behovet for service af pladevarmevekslerne da serviceintervallet for pladevarmevekslerne forventes at ændre sig fra 1 til 5 år (160.000 hver 5. år). Dog vil der årligt være serviceudgifter for FoulingCure på Ca. 15.000 Kr./år, og den årlige besparelse vil være ca. 113.000, - kr./år

Den samlede driftsmæssige besparelse for Aabenraa – Rødekro Fjernvarme efter montage af FoulingCure forventes at være 603.000, - kr. / år.

### **Konklusion**

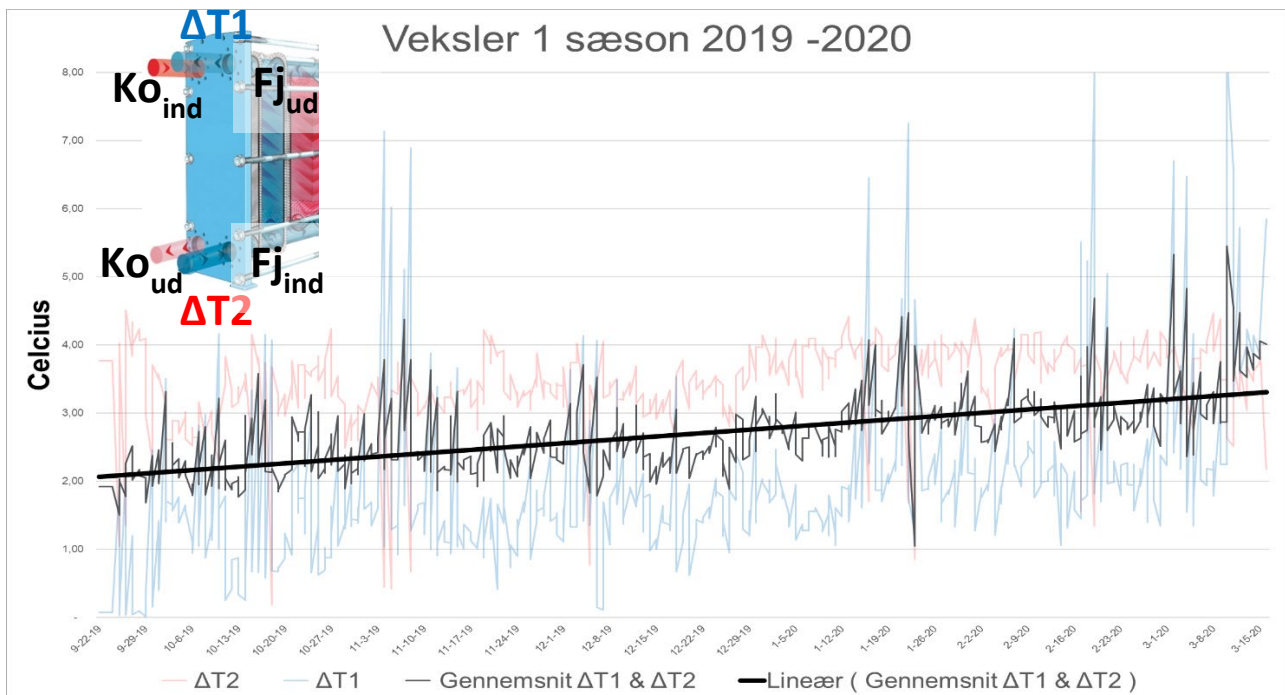
Den endelige konklusion, forventes først at kunne laves ved afslutning af fyringssæsonen juni 2021.

FoulingCure har de første 11 uger efter installation holdt veksleren ren og ydet 100%, og det forventes at FoulingCure vil renholde veksleren i fremtiden. FoulingCure kører mekanisk som forventet.

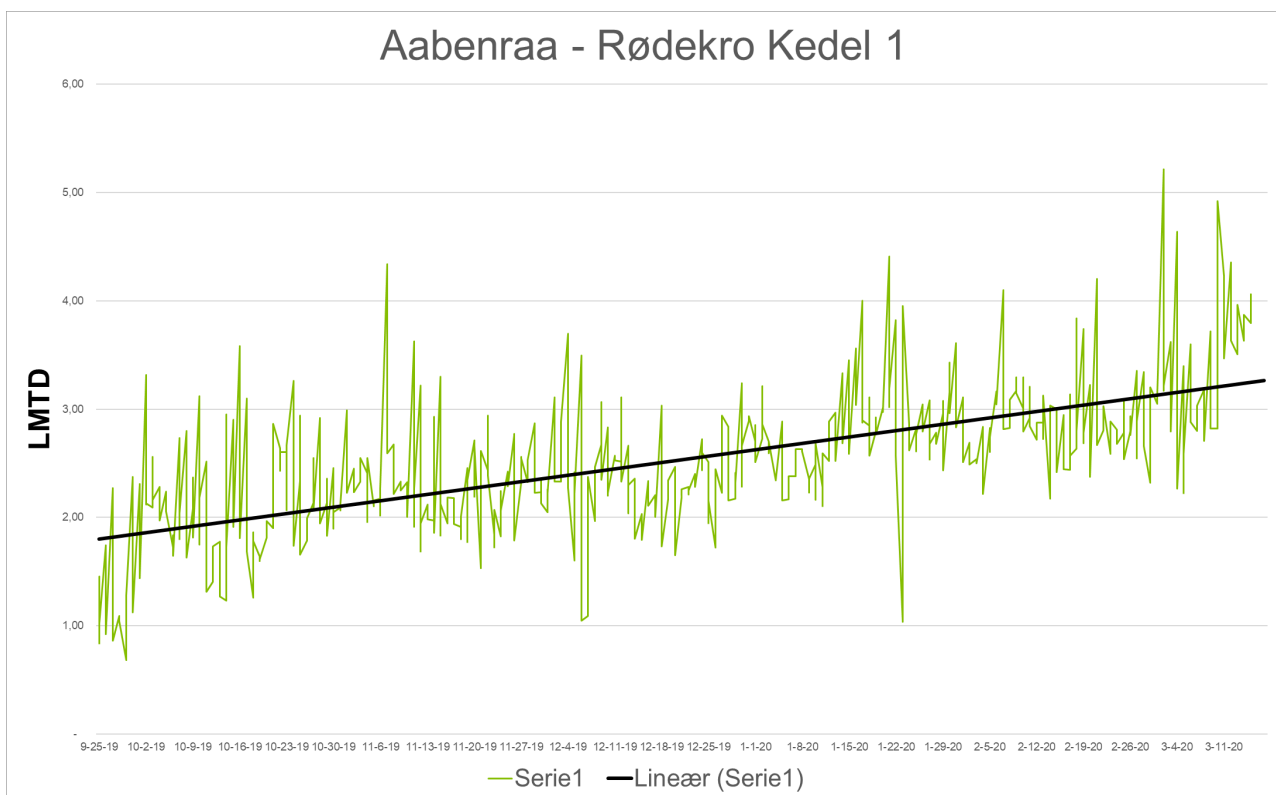
Problemer med løst glasfiber var en udfordring i pilottesten, men hvis FoulingCure over tid kan løsne op for en tilstoppet veksler, så har dette lille uheld kun eftervist at FoulingCure konceptet er stærkt.

Der vil forsat blive indhentet, behandlet og analyseret data på ugebasis, frem til juni 2021.

## APPENDIKS A



Figur A1: Temperaturudvikling i  $\Delta T1$  og  $\Delta T2$  uden FoulingCure system for en 24 ugers periode (25/9-2019 til 15/3-2020 fra data i fyringssæsonen 2019 - 2020).



Figur A2: Udvikling i LMTD (Logaritmsk Middel Temperatur Differens) uden FoulingCure system for en 24 ugers periode (25/9-2019 til 15/3-2020 fra data i fyringssæsonen 2019 - 2020).

### Fouling Considerations in Plate Heat Exchangers

- **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 ( $\Delta p$ ) in the heat exchanger.

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

-> Increasing pressure drop ( $\Delta p$ ) increases shear stress (T) or fouling removal rate 1:1

- Pressure drop ( $\Delta p$ )  $\Delta p = 4 f_{ch} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \cdot \frac{L}{D_e}, \quad \Delta p \propto w^2$

-> \*Increasing fluid velocity increases the pressure drop ( $\Delta p$ ) by  $w^2$

#### Conclusion:

**Increasing fluid velocity increases (T) or Fouling Removal / Cleaning effect by  $w^2$**