



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Fjernelse af tungmetaller fra røggaskondensat med keramiske membraner

Projektrapport

MUDP-rapport

December 2017

Udgiver:
Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
www.mst.dk

Redaktion:
Jens Dall Bentzen, Dall Energy
Haris Kadrispahic, Liqtech

Foto:
Liqtech

Illustration:
Liqtech

ISBN: 978-87-7120-924-2

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
1.1 Beskrivelse af anlægget i Vestervig	5
1.2 Resultater og konklusion	6
Summary and conclusion	7
1.3 Description of the plant in Vestervig	7
1.4 Results and conclusion	8
2. Baggrund og formål	9
2.1 Baggrund	9
2.2 Formål	9
3. Princip for Liqtech's filteranlæg	10
3.1 Liqtech's keramiske membran - HydraSiC - som løsning til rensning af røggaskondensat	10
3.2 HydraSiC løsning fra tests til Vestervig	10
4. Filteranlægget i Vestervig	13
4.1 Beskrivelse af vandbehandlingsanlæg, Vestervig varmeværk.	13
4.1.1 Trin 1, fældning	14
4.1.2 Trin 2 – fjernelse af partikler	14
4.1.3 Trin 3 - afvanding.	14
4.1.4 Efterfølgende justeringer.	15
5. Videreudvikling af LiqTech's filteranlæg	18
6. Resultater og økonomi	19
7. Konklusion	20

Forord

Nærværende projekt er gennemført med økonomisk støtte fra Miljøministeriets tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi. Tilskudsordningen har til formål at skabe bedre rammer for danske virksomheders udvikling af miljøeffektiv teknologi. Indsatsen er målrettet konkurrencedygtige og innovative løsninger på væsentlige globalt udbredte miljøudfordringer.

I 2015 indkaldte Miljøministeriet til ansøgninger på projekter, der kunne opnå reduktioner af udledning af tungmetaller i spildevand. Der kunne søges tilskud til projekter, som omfattede udvikling, test og/eller demonstration af teknologier til at begrænse udledninger af specielt cadmium og andre tungmetaller.

I de seneste år er der lavet afprøvninger af keramiske membraner på biomassefyrede varmeværker, som viser at keramiske filtre har et potentiale til fjerne tungmetaller og partikler fra røggaskondensat

2010: Et pilot anlæg på varmeværket i Åbybro, demonstrerede at cadmium kunne reduceres til under 1 µg/liter. Anlægget kom dog ikke til at køre kontinuert og ubemandet. Projektet blev gennemført i et samarbejde mellem Dall Energy, Løkken VVS og Åbybro varmeværk. Liqtechs keramisk membran blev benyttet.

2012: Et demonstrationsanlæg på varmeværket i Fjerritslev demonstrerede kontinuert drift, men det ekstremt lave niveau for cadmium kunne ikke opnås, idet Fjerritslev kørte med lav pH i deres røggaskrubber. Projektet blev gennemført i et samarbejde mellem Dall Energy, Løkken VVS og Fjerritslev varmeværk. Liqtechs keramisk membran blev benyttet.

I 2015 fik Sønderborg fjernvarme etableret et nyt biomasse anlæg designet af Dall Energy. Det nye biomasse anlæg udmærker sig blandt andet ved at have ekstremt lave emissioner af støv, NOx og CO. Dall Energy havde specificeret at der skulle installeres et keramisk filter til rensning af røggaskondensat. Filteret blev leveret af Kaj Larsen VVS. Kaj Larsen VVS er imidlertid gået konkurs og Sønderborg Fjernvarme valgte i sommeren 2015 at indkøbe et traditionelt båndfilter.

LiqTech har siden 2014, (efter opkøb af Provital Solutions) fokuseret på levering af standardiserede anlæg til applikationer, som kræver fjernelse af bl.a. tungmetaller. Løsningerne er blevet implementeret i forskellige brancher, herunder til røggaskondensat på fjernvarmeværker.

LiqTech har blandt andet gennemført tests hos Fuglebjerg Forsyning a.m.b.a der ønskede at behandle kondensat fra røggrensingsproces således, at de af den kommunale tilsynsmyndighed fastsatte grænseværdier for tungmetaller og de øvrige partikulære indholdsstoffer kunne overholdes. Testene hos Fuglebjerg Forsyning viste at indholdet af tungmetaller i spildevandet efter de keramiske filter var under 1 mikrogram pr. liter.

Resultaterne som er opnået på diverse forsøgsanlæg er blevet overført til anlægget i Vestervig.

Projektet er gennemført med velvillig bistand fra driftsleder Preben Bjerre, og det øvrige personale på Vestervig Fjernvarme

Tak til alle der har bidraget.

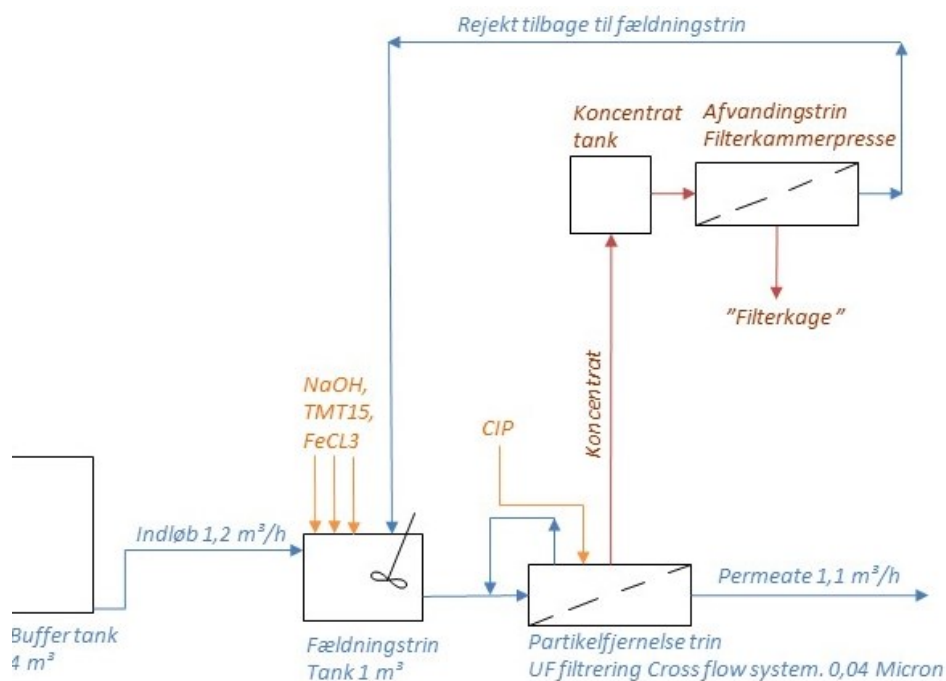
Jens Dall Bentzen, Dall Energy & Haris Kadrispahic, LiqTech 16. August 2017

Sammenfatning og konklusion

Dette projekt har haft til formål at undersøge om LiqTechs keramiske membraner rummer nye muligheder for at rense røggaskondensat for tungmetaller i røggaskondensat til et ekstremt lavt niveau (under 1 µg/liter).

1.1 Beskrivelse af anlægget i Vestervig

Vandbehandlingssystemet der er installeret hos Vestervig Fjernvarme er bestående af 3 procestrin, der er forbundet med hinanden til behandling af røggaskondensat fra værkets flisfyrede kedel. Vandbehandlingsanlægget er installeret med henblik på at fjerne partikler og tungmetaller. Tungmetallerne i røggaskondensatet er primært opløst, hvilket gør en direkte fjernelse vanskelig. Vandbehandlingssystemet består derfor af et fældningstrin hvori opløste tungmetaller tages ud af opløsningen ved tilsætning af fældningskemikalier. Efter udfældningen kan membran anlægget fjerne tungmetaller fra vandet og samtidig koncentrere dem op i en slam, som kan håndteres i afvandingssystem. De tre procestrin ses i figur 1 herunder:



Figur 1: Illustration af vandbehandlingssystemet der viser de 3 procestrin: Fældning, Partikelfjernelse og Afvanding

Herunder ses et billede af det færdige anlæg i Vestervig:

Filterkammerpresse, fældningstank, koncentrat tank (væghængt), buffertank, membranlæg



Figur 2 Foto af færdige anlæg i vestervig

1.2 Resultater og konklusion

LiqTech International har idriftsat anlægget i 2016 og efter tre måneders opstartsarbejde blev der foretaget målinger på bl.a. cadmium indholdet i røggaskondensatet. Udledningskrav blev overholdt – som man også havde forventet qua LiqTech's tidligere erfaringer på området. Anlægget viste sin robuste egenskaber og man fandt ud af, at intervallet imellem de kemiske rensninger er yderst tilfredsstillende. Strømforbruget er på ~ 2 kWh per m³ rensset kondensat imens kemiforbrug er ~ DKK 2 per m³ rensset kondensat. Teknologien gjorde det muligt at rense røggaskondensat for tungmetaller til et ekstremt lavt niveau på under 1 µg/liter (0,15 µg/liter).

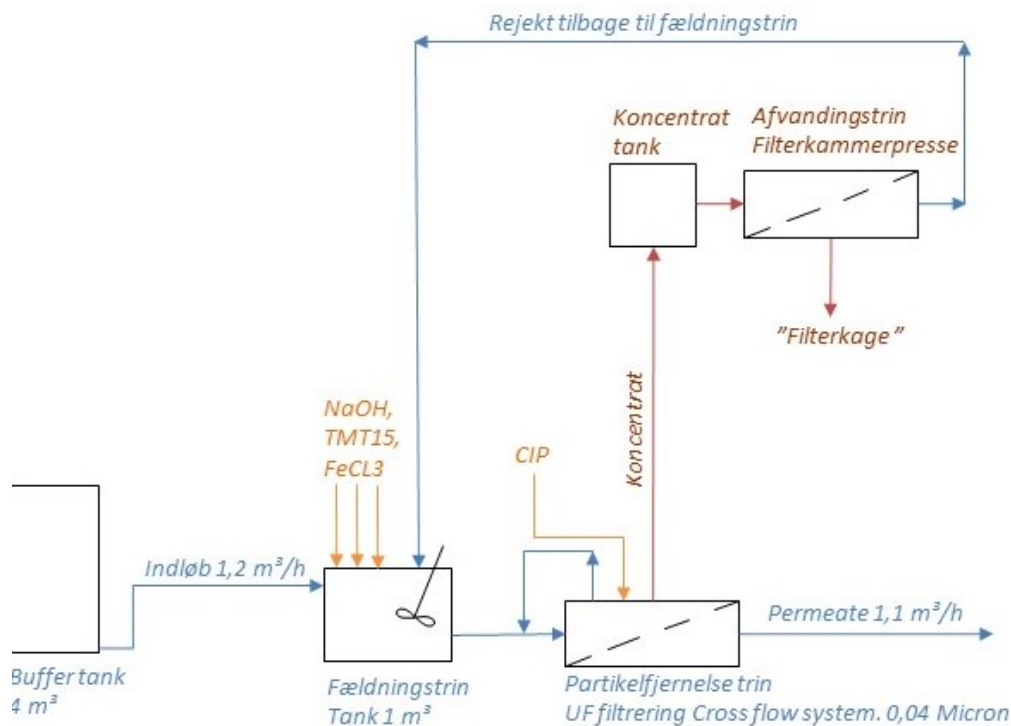
Dermed kan det konkluderes at vandbehandlingsystemet er velegnet til formålet.

Summary and conclusion

The purpose of this project is to investigate if LiqTechs technology of the ceramic membranes contains new opportunities for cleaning flue gas condensate and make it contain ultra-little heavy metals (under $\mu\text{g}/\text{liter}$).

1.3 Description of the plant in Vestervig

The system installed in corporation with Vestervig district heating company is consisting of 3 steps. The 3 steps are combined to process the flue gas condensate from the wood chip boiler of the plant. The filter is installed in order to remove particles and heavy metals. The heavy metals in the flue gas condensate are primarily dissolved and it is therefore difficult to remove the heavy metals directly. The system is therefore consisting of a precipitation step where the heavy metals are removed from the solution by adding precipitation chemicals. When the precipitation is done the membrane-plant makes it possible to remove the heavy metals from the water and at the same time concentrate them in a sludge. The sludge can be handled in the drainage system. The 3 steps are illustrated in the figure below:



Figur 3: The illustration shows the 3 steps in the system

Below is a picture of the filter system in Vestervig:

Filter chamber press, precipitation tank, concentrate tank (wall hung), buffer tank, membrane system



Figur 4: The functional plant in Vestervig

1.4 Results and conclusion

LiqTech International has commissioned the plant in 2016 and after three months of start-up work, measurements were made on Cadmium discharge. Discharge requirements were met – as was expected from LiqTech's previous experiences in this area. The plant showed its robust properties and it was found that the interval between the chemical cleanings is extremely satisfactory. Power consumption is at ~ 2 kWh per m³ of purified condensate while chemical consumption is ~ DKK 2 per m³ of purified condensate. The technology made it possible to clean the flue gas condensate for heavy metals to an extremely low level of less than 1 µg / liter (0,15 µg / liter).

It can be concluded that the water treatment system is very suitable for the purpose.

2. Baggrund og formål

2.1 Baggrund

Dansk Energpolitik har siden 1990 haft hensynet til miljøet og energibesparelser i centrum og at den danske energiforsyning i større grad skal baseres på vedvarende energi. Biomasse forventes at få en central rolle i et sådant VE baseret energisystem. Men selvom biomasse i mange tilfælde er CO₂ neutralt og ofte også lokalt produceret, kan biomasse teknologier ikke betegnes miljøvenlige, med mindre de spildstrømme: røg, aske og spildevand der produceres ikke belaster miljøet.

Spildevand – i form af røggaskondensat – føres til recipient og det er væsentligt at indholdet af miljøfremmede stoffer, f.eks. tungmetaller er så lavt som overhovedet muligt.

2.2 Formål

Formålet med projektet er at demonstrere, verificere og formidle en ny teknologi, baseret på keramiske membraner, der fjerner tungmetaller i røggaskondensat til et ekstremt lavt niveau (under 1 µg/liter).

3. Princip for Liqtech's filteranlæg

3.1 Liqtech's keramiske membran - HydraSiC - som løsning til rensning af røggaskondensat

HydraSiC er LiqTech International's standard UF membranløsning til brug for røggaskondensat. HydraSiC er blevet udviklet med baggrund i resultater fra tidligere projekter. Hjertet af systemet er LiqTechs patenterede Silicium Karbis (SiC), membraner som sikrer en høj og konsistent tilbageholdelse af partikler og tungmetaller. Det man kan fremhæve ved de keramiske membraner er meget høj flux (mængde af vand som bliver filtreret), samtidigt med den ekstreme robusthed og udholdenhed.

3.2 HydraSiC løsning fra tests til Vestervig

LiqTech International har siden opkøb af Provital Solutions (i dag LiqTech Systems) i 2014, fokuseret på levering af standardiserede anlæg til applikationer, som kræver fjernelse af bl.a. tungmetaller. Løsninger blev implementeret i systemer til røggaskondensat og til skrubbervand.

Mens Skrubber løsninger blev lanceret til maritime branche, har LiqTech International i de seneste to år fokuseret på dansk fjernvarme som den optimale aftager.

Forud for opkøb af Provital Solutions, havde LiqTech International, satset på udelukkende at levere membraner til systems leverandører, som kunne implementere løsninger hos kunden. I de senere år, blev man klar over at LiqTech's Engineering team, havde mere erfaring i systemdesign til de enkelte kunder, end de systemleverandører som man forsøgte at sælge systemet til. Disse erfaringer blev hentet bl.a. hos flere demo/pilot forsøg.

En af de tests blev foretaget hos Fuglebjerg Forsyning a.m.b.a der ønsker at behandle kondensat fra en røggrensningsproces således, at de af den kommunale tilsynsmyndighed fastsatte grænseværdier for tungmetaller og de øvrige partikulære indholdsstoffer kunne overholdes. Teknologier som LiqTech International var oppe imod hos Fuglebjerg Forsyning er blandt de mere almindelige i form af, båndfiltre, spånfiltre og adsorptionsteknologier, hvis tilbageholdelsesgrad og efterfølgende spildevandskvalitet i høj grad afhænger af adskillige andre parametre som f.eks. høj pH-værdi, dosering af polymere for flokkulering, og ikke mindst filterkageformationsdannelse. Den største udfordring for de mest anvendte teknologier i dag er at den regelmæssige kvalitet som man skal leve op til er vanskelig at opretholde i den daglige drift. En anden downside af ovennævnte teknologier, er at deres formål ikke er genanvendelse. Hvis en virksomhed ønsker at genanvende vandet til f.eks tekniske formål, ville det som udgangspunkt ikke være muligt.

Det er muligt at opnå markante besparelser ved at genanvende røggaskondensat. Eksempelvis kan den rensede vand bruges til spædevand på transmissionsnettet både i form af sparet afladningsafgift samt på indkøb af drikkevand. Hvis behovet for genanvendelse ikke er til stede, så kan dette vand, med en miljøtilladelse også udledes til en recipient.

Løsningen som LiqTech International foreslog for Fuglebjerg efter gennemførte tests er HydraSiC Uf anlæg. Denne er standardiserede rammemonterede units, udstyret med SiC keramiske membraner, og designet med øje for at passe ind hvis pladsen er trang. Herudover kræver HydraSiC anlæggene kun minimal vedligeholdelse, og har bl.a. indbygget Cleaning-in-place (CIP), samt mulighed for integration af backflush, fældningstrin, for-filtrering, overvågningen, datalog og styring via internetforbindelse. Formålet i denne forbindelse er at HydraSiC UF

anlægget er efter kemisk-udfældning fra skrubbervandet eller røgkondensatet, at fjerne suspenderede partikler og tungmetaller i partikelform. Hele formålet med HydraSiC løsninger er at teknologiaftager får en standardiseret løsning, hvor der alligevel er plads til at efterkomme de helt specifikke krav uanset kapacitet og budget. Ekstraudstyr kan tilkøbes efter behov.

Løsningen i denne forbindelse som er vurderet til at være tilstrækkelig er:

- Prefiltrering, Fældningstrin
- UF system, HydraSiC
- Kammerfilterpresse

For at kunne fjerne Cadmium (Cd), som var en af de problematiske tungmetaller, som i kondensat ofte findes i opløst form bliver der brugt et simpelt fældningstrin. I dag er det vigtigt at dette trin og rensning generelt bliver brugt så lidt kemi som muligt. Dette trin er derfor polymerfrit.

Fældningstrinnet vil normalt bestå af en opsamlingsstank, hvis kapacitet fastsættes i forhold til den maksimale fødevandmængde, og pH-værdien reguleres automatisk i forhold til hvilke tungmetaller man ønsker at udfælde.

Tabel 1: Typisk vandkvalitet

Tungmetal	Metode	Enhed	Fødestrøm	UF	Fældning + UF	RO
Antimon (Sb)	ISO 17294-2	µg/l	2.70	2.0	<0.8	< 0.10
Arsenik (As)	ISO 17294-2	µg/l	8.00	7.00	<1.0	<0.02
Bly (Pb)	ISO 17294-2	µg/l	120	0.20	<0.1	0.15
Chrom (Cr)	ISO 17294-2	µg/l	11.00	10.00	<3	< 0.03
Mangan (Mn)	ISO 17294-2	mg/l	0.99	<0.02 (oxidation)		< 0.002
Zink (Zn)	ISO 17294-2	µg/l	1,700	860	<7.0	0.68
Kviksølv (Hg)	SS-EN 1483	µg/l	5	2.8	<0.05	< 0.03
Cadmium (Cd)	ISO 17294-2	µg/l	11.00	6.00	<1	< 0.03
Jern total (Fe)	ICP	mg/l	0.37	< 0.05 (oxidation)		< 0.01
Olie og fedt	SS 028145	mg/l	20	< 2		< 0.1
Partikler (TSS)	EN 872	mg/l	18.00	< 1		0

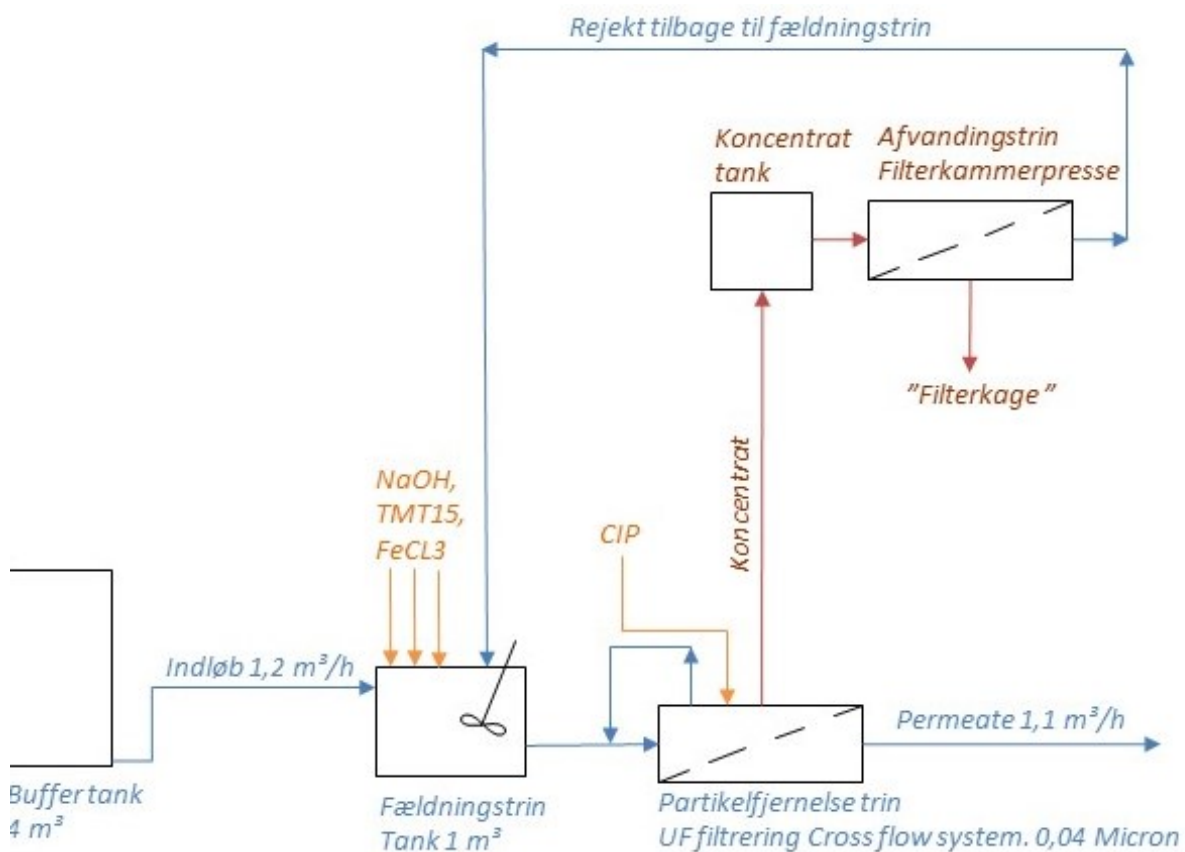
Table 2: Miljøministeriets Vejledende grænseværdier

Testparameter	Enhed	Miljøministeriets vejledende Grænseværdier
pH	pH	6,5 - 9,0
Temperatur	°C	<50
Maksimal døgnvandmængde	m ³	TBD
Maksimal årsvandmængde	m ³	TBD
Suspenderet stof	mg/l	<500
Bundfald efter 2 timer	mg/l	TBD
Nitrifikationshæmning ved 200 ml/l	mg/l	<20%
Klorid	mg/l	1000
Sulfat	mg/l	<500
Bly	µg/l	<100
Cadmium	µg/l	<3
Krom	µg/l	<300
Kobber	µg/l	<100
Kviksølv	µg/l	<3
Nikkel	µg/l	<250
Zink	µg/l	<3000
ΣPAH16	µg/l	<2

4. Filteranlægget i Vestervig

4.1 Beskrivelse af vandbehandlingsanlæg, Vestervig varmekværk.

Vandbehandlingssystemet der er installeret hos Vestervig Fjernvarme er bestående af 3 procestrin, der er forbundet med hinanden til behandling af røggaskondensat fra værkets flisfyrede kedel. Vandbehandlingsanlægget er installeret med henblik på at fjerne tungmetaller. Tungmetallerne i røggaskondensatet er primært opløst, hvilket gør en direkte fjernelse vanskelig. Vandbehandlingssystemet består derfor af et fældningstrin hvori opløste tungmetaller tages ud af opløsningen ved tilsætning af fældningskemikalier. Efter udfældningen kan membranlægget fjerne tungmetaller fra vandet og samtidig koncentrere dem op i en slam, som kan håndteres i afvandingssystem. De tre procestrin har følgende funktioner:



Figur 5: Illustration af de tre procestrin og deres funktioner

- Fældningstrin. Fældning cadmium (Cd), kobber (Cu) bly (Pb) nikkel (Ni), zink (Zn)
- Partikelfjernelse trin: Fjernelse af udfældede tungmetaller Cd, Cu, Pb, Ni og Zn
- Afvandingstrin: Opkoncentrerer slammet fra partikelfjernelse trin.

4.1.1 Trin 1, fældning

Røggaskondensat flow op til 1,2 m³/h ledes fra 4 m³ buffer tank til udfældningstrinet. I dette trin udfældes tungmetallerne Cd, Cu, Pb, Ni og Zn ved høj pH ved tilsætning af fældningskemikalier. For udfældning af tungmetaller doseres der fældningskemikalie TMT15. (45-50 ml / m³ / vand). Tilstedeværelsen af jern kan ligeledes forbedre tungmetaller og tørstof udfældning, da jernoxider har evnen til binde forbindelser, såsom As, Sb, Cd, Cu, Pb, Ni og Zn. For at gøre brug af denne udfældningseffekt, doseres FeCl₃ ligeledes til udfældningstrinet. (80-120 ml / m³ / vand)

En af de vigtigste faktorer for tungmetaludfældning er korrekt pH værdi, og derfor er der behov for en kontrol af pH-værdien i fældningstanken. Udfældning af tungmetaller er mest effektivt under neutrale -til alkaliske forhold. PH i udfældningstrin vil derfor blive justeret og opretholdt på en værdi på pH 8,0 - 8,2 ved tilsætning af koncentreret NaOH.

4.1.2 Trin 2 – fjernelse af partikler

Efter udfældningstrinet pumpes vandet videre til membranlægget. Membranlægget drives i en cross flow konfiguration. Via af et differenstryk tvinges vandet gennem den tætte struktur i silicium membranerne og alle ikke-opløste forbindelser adskilles fra vandet. Der skabes således to processtrømme, én permeate strøm med lave koncentrationer af Cd, Cu, Pb, Ni og Zn samt én koncentrat strøm med høje koncentrationer af disse forbindelser. Membranlægget er designet til at drifte ved en recovery på 97-99%. Dette betyder, at 95 % af den indgående vand forlader systemet som permeate, og 5% betegnes koncentrat.

Membranerne der anvendes i membranlægget har en ydre diameter på 25 mm, en længde på 1178 mm og en nominel porestørrelse på 40 nm. Membranerne er installeret i et rustfri hus som bærer 31 membran elementer. Systemet er konfigureret som et cross flow-system. I et cross-flow-system er membranerne installeret i cirkulationskredsløb, hvor vandet cirkuleres hen over membranoverfladen. Denne recirkulation skaber en renseffekt på membranoverfladen, hvilket forhindrer partiklerne i at danne en overflade/belægning på membranvæggen. For optimal renseffekt skal cross-flow hastighed i membrankanalerne være på 2,5 m/s, hvilket svarer til et recirkulation flow på 65 m³/h for alle anlæggets membraner.

Fjernelsen af tungmetaller opnås ved en udelukkelsesmekanisme på størrelsen af partiklerne. Mens vand og opløste stoffer frit kan trænge gennem membranens struktur, vil udfældede tungmetaller og suspenderet stof ikke trænge igennem membranens overflade på grund af deres størrelse.

For sikre membranerne mod fouling, er membranlægget installeret med udstyr til kemisk rengøring (CIP). Kemisk rensning af membranerne udføres manuelt hvis differenstrykket, der kræves for at opretholde den ønskede permeate produktion, gennem membranerne overstiger en værdi på 0,8 bar. Sekvensen for CIP er følgende; dræn – rent vands skyl - recirkulering med en alkalisk og herefter en sur opløsning.

4.1.3 Trin 3 - afvanding.

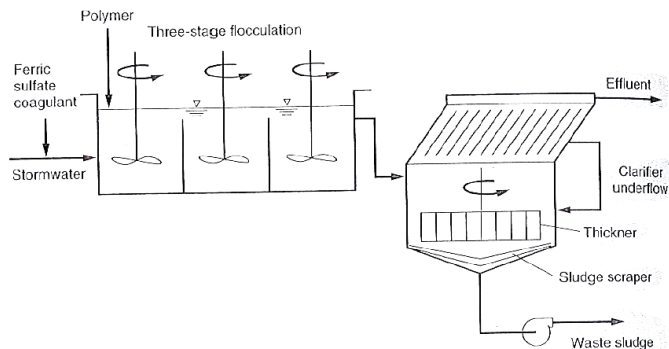
Filterkammerpressen modtager koncentratet fra koncentrattanken og afvander det til en filterkage. Denne filterkage dumpes ned i en beholder placeret under filterpressen. Rejektet fra filterkammerpressen returneres til fældningstanken.

Det hydrauliske system på filterkammerpressen komprimerer filterpladerne sammen med en sådan kraft, at filtreringens trykket ikke kan drive pladepakken fra hinanden, og så pressen forbliver forseglet. Over tid alle vil udfældede stoffer ophobes i filterplader og danne en filterkage. Denne kage dumpes i en beholder under filteret pressen.

4.1.4 Efterfølgende justeringer.

Filterkammerpressen blev efter testperioden erstattet med en lamelfældningstank. Dette har man gjort primært for at minimere tidsforbruget for personalet.

Lamelfældningstank bruger kemisk tilsætning efterfulgt af tre-trins flokkulering og en lamelseparator. Koaguleringsmiddel og polymer injiceres i forarbejdet spildevand forud for indgangen til flokkuleringszone. Når kemisk behandlet spildevand passerer gennem hver af de tre flokkuleringszoner, reduceres blandingsenergigradiantierne, idet spildevandet fortsætter fra et trin til det næste. Det kemisk flokkede spildevand passerer derefter til lamelseparator til fast adskillelse. En del af separator understrømmen kan recirkuleres til processens udløb for at forbedre sedimenteringen, eller hele understrømmen kan sendes til en fortykningstank og faststofbehandlingsanlæggene.



Figur 6 Lamelfældnings proces

Filterkammerpresse, fældningstank, koncentrattank (væghængt), buffertank, membranlæg



Figur 7: Færdige anlæg i Vestervig



Figur 8: Koncentrattank og fældningstank



Figur 9: Membranlæg

5. Videreudvikling af LiqTech's filteranlæg

LiqTech International ser på flere muligheder, hvorpå man kunne videreudvikle løsningen til fordel for kunden. En af de mindre økonomisk konkurrencedygtige løsninger der er knyttet anlægget er afpresnings trinnet. Filterkompresser ser man som en teknologi der bliver erstattet med en alternativ teknologi der er billigere, mere simpel at styre og ikke mindst væsentlig nemmere at automatisere. Danske HiFlux Filtration A/S leverer eksempelvis filtre til denne trin som vil kunne passe på fremtidige anlæg.

Et grundlæggende trin i nuværende systemer er koagulering af tungmetaller, partikler og organisk materiale med flydende jernbaseret koagulant (FeCl_3) samt efterfølgende ultrafiltrering (UF). Efter UF processen afvandes det tilbageholdte koncentrat (retentat) i en filterpresse, mens det filtrerede permeat enten ledes til kloak, eller genanvendes som "make-up water" efter polering ved hjælp af aktivt kul og omvendt osmose (RO).

Et alternativ til flydende FeCl_3 kan være elektrokoagulering (EC) hvor koagulanten (jern) doseres elektrokemisk via en anodisk oxidation af en jernholdig offer elektrode hvorved jern doseres direkte i væsken fra elektroden. Fordelen ved EC er reduceret koagulant håndtering/transport/udgifter samt reducerede omkostninger til base der produceres direkte ud fra vand i den elektrokemiske proces. Yderligere giver EC mulighed for en bedre styring af koagulant doseringen og en renere dosering (indeholder ikke klorid), reduceret slammængde til afvanding og slutdisponering, samt øget pH ved processen, hvilket er en fordel ved udfældning af tungmetaller (modsat den konventionelle tilsætning af FeCl_3 der sænker pH), Bazrafshan et al. (2015).

LiqTech International ser derfor et projekt, som vil have til formål at udvikle og teste en EC-celle til, i kombination med keramisk ultrafiltrering, at opnå en billigere, bedre og mere miljøvenlig rensning af RGK. Den færdige løsning vil blive implementeret i LiqTech's systemer til rensning af RGK som en ny og forbedret produktserie. Projektet vil tage udgangspunkt i rensning af RGK fra flis-fyrede varmeværker, hvor især fjernelsen af tungmetallerne (Cd, Cu, Ni, Zn og Pb) er essentiel. Projektets overordnede succeskriterie er at opnå samme koagulerings effektivitet med EC som traditionel FeCl_3 koagulering (målt på systemets tilbageholdelse af tungmetaller) men med et væsentligt lavere kemikalieforbrug (målt i kg) samt reduceret slamdannelse.

Projektet vil udvikle og afprøve en ny anvendelse af EC, der potentielt kan reducere/fjerne kemikalieforbruget til koagulering af tungmetaller i forbindelse med røggasrensning samt øge kosteffektiviteten af systemer til rensning af røggaskondensat.

Elektrokoagulering er en opkommende innovativ fældningsteknologiteknologi der pt. gør sit indtog på bl.a. minedriftsområdet, der ser store fordele i de minimerede udgifter til transport og opbevaring af kemikalier .

Litteraturstudier har vist EC som en brugbar teknologi til fjernelse af uønskede stoffer herunder tungmetaller . I forhold til den traditionelle kemiske koagulering har elektrokoagulering bl.a. følgende fordele: let at styre, reduceret kemikalie forbrug samt en reduceret slamvolumen med et lille vandindhold, Bazrafshan et al. (2015).

6. Resultater og økonomi

LiqTech International har idriftsat anlægget i 2016 og efter tre måneders opstartsarbejde blev der foretaget målinger på bl.a. cadmium udladning. Udladningskrav blev overholdt – som man også havde forventet qua LiqTech's tidligere erfaringer på området. Anlægget viste sin robuste egenskaber og man fandt ud af at de interval imellem de kemiske rensninger er yderst tilfredsstillende.

Strømforsbrug er på ~ 2 kWh per m³ rensset kondensat imens kemiforsbrug er ~ DKK 2 per m³ rensset kondensat.

Beregningen af de økonomiske resultater viste at Vestervig Fjernvarme kunne opnå en stor besparelse allerede efter et år. Ved en rensning af 3 m³/h kondensat kunne man opnå besparelse på ca 240.000dkk ved 5000 driftstimer. Ønsker man at genanvende og dermed vælger en yderligere investering i en RO anlæg kan denne besparelse mere end fordobles og vil udgøre ca. 500.000dkk.

7. Konklusion

På baggrund af projektets resultater kan man konkludere at :

- Det er muligt at fjerne cadmium fra røggaskondensat så indholdet af cadmium er under $1\mu\text{g/l}$, i et kontinuert og fuldautomatiks anlæg, som er baseret på keramiske membraner.
- Driftsomkostningerne er under 50.000dkk om året
- Der er maksimalt 1 tilsyn pr. uge.
- Investeringen er under 1 mio. kr.

Det skal endvidere bemærkes at SDI er under 3, hvilket gør det muligt at opsætte et RO anlæg, hvorved kunden kan genanvende spildevandet til fjernvarmevand, og dermed spare på vandudgiften.

Fjernelse af tungmetaller fra røggaskondensat med keramiske membraner

Projektet demonstrerer rensning af røggaskondensat fra et flisfyret fjernvarmeværk for tungmetaller til ekstremt lavt niveau vha. keramiske membraner.

Virksomheden Dall Energy ApS har sammen med Liqtech A/S og Vestervig Fjernvarme gennemført MUDP-projektet "Fjernelse af tungmetaller fra røggaskondensat med keramiske membraner". Teknologien i projektet er keramiske membraner til rensning af tungmetaller i røggaskondensat, i dette tilfælde fra et flisfyret fjernvarmeværk. Projektet demonstrer, at teknologien er konkurrencedygtig med fjernvarmeværkets nuværende teknologi, og rapporten konkluderer også, at teknologien med held kan tænkes sammen med andre nye teknologier til yderligere rensning og behandling af restprodukter fra renseprocessen.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk