



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

TEXI 2

Demonstrationsprojekt vedrørende
implementering af integreret vandrensning i
våd tekstilindustri, 2010-14

2014

Titel: Demonstrationsprojekt vedrørende implementering af integreret vandrensning i våd tekstilindustri (TEXI2) **Projektgruppe:**
Henrik Grüttner
Gert Holm Kristensen

Udgiver:

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.nst.dk

Redaktion [evt. fotos og illustrationer]:

[indsæt navn/navne]

År:

2014

ISBN nr.

978-87-92256-82-9

Ansvarsfraskrivelse:

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for vandteknologi, medfinansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
1. Indledning	11
1.1 Baggrund	11
1.2 Formål	11
1.3 Tilgang	11
2. Projektet	13
2.1 Ege-tæpper Gram.....	13
2.1.1 Beskrivelse af produktionen	13
2.1.2 Formål med etablering af anlægget	14
2.2 Integreret vandbehandling	15
2.2.1 Metode.....	15
2.2.2 Driftserfaringer / Troubleshooting	17
2.2.3 Anlæggets driftsøkonomi	17
2.3 Disponering af koncentrat	19
2.3.1 Vurdering af de anvendte kemikalier	19
2.3.2 Oversigt over screenede disponeringsalternativer	20
2.3.3 Massebalance	21
2.3.4 Beregningsmodel for afledning til Gram Renseanlæg.....	21
2.3.5 UF1: Aflevering af UF-koncentrat til rådnetank på renseanlæg	22
2.3.6 UF2: Aflevering til forbrændingsanlæg efter inddampning og tørring	23
2.3.7 UF3: Aflevering til forbrændingsanlæg efter kemisk fældning.....	24
2.3.8 UF4: Udledning til Gram renseanlæg efter kemisk oxidation	25
2.3.9 RO2: Udledning til Gram renseanlæg efter kemisk oxidation	26
2.4 Gennemførte undersøgelser af koncentraterne.....	28
2.4.1 Måling af biogas-potentiale	28
2.4.2 Laboratorieforsøg med inddampning	28
2.4.3 Forsøg med kemisk fældning.....	28
2.4.4 Forsøg med kemisk oxidation.....	30
3. Konklusion	33
3.1 Overordnet vurdering af det etablerede system	33
3.2 Økonomisk sammenfatning vedr. disponering af koncentrat	33
Litteratur	35
Bilag	36
Bilag 1: Forsøg med kemisk fældning	36

Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet ”Demonstrationsprojekt vedrørende implementering af integreret vandrensning i våd tekstilindustri (TEXI2)”, der er gennemført med tilskud fra Miljøministeriet 2011.

Projektgruppen har bestået af:

Henrik Grüttner, DHI

Gert Holm Kristensen, DHI

I følgegruppen har, udover projektgruppen, også Naturstyrelsen deltaget v Jóannes J. Gaard.

Sammenfatning

Nærværende projekt har overordnet haft til formål at fungere som demonstrationsprojekt for etablering af et fuldskalaanlæg for integreret vandrensning ved brug af membranfiltrering. Egetæpper i Gram etablerede et sådant anlæg i efteråret/vinteren 2010-11 og har velvilligt stillet oplysninger til rådighed.

Projektet har fulgt de forskellige faser i etableringen af anlægget – fra udbud til drift – og nærværende rapport sammenfatter erfaringerne og giver status, nu 3-4 år efter etableringen. Specifikt i forhold til konzentratbehandling har nærværende projekt yderligere haft til formål at afprøve og vurdere en række metoder teknisk og økonomisk.

Fabrikken havde på etableringstidspunktet i 2010 flere formål med at etablere anlægget:

- 1) Reduktion af forureningsbelastningen i spildevandet
- 2) Genbrug af vand
- 3) Genbrug af fortykker og farvestoffer

Reduktion af forureningsbelastningen i spildevandet var ønskelig dels på grund af omkostningerne til særbidrag, og dels på grund af et ønske fra kommunen om at udledningen af specielt farvestoffer blev reduceret, idet disse i et vist omfang havde vist sig vanskelige at fjerne i det lokale Gram renseanlæg.

Genbruget af vand var ønskeligt på grund af omkostningerne til indkøb og udledning af vandet, men også fordi det forventedes, at der ville kunne spares energi til opvarmning af vandet. Samtidig er vand et indsatsområde på virksomheden, og man ønskede at gøre en ekstra indsats på dette område.

Genbrug af fortykker og farvestoffer var ønskeligt i forhold til at spare indkøb af disse ret dyre kemikalier. Erfaringer fra udlandet pegede på at dette var teoretisk muligt, og ideen var at genanvende ultrafiltrerings-koncentratet som udgangspunkt for den efterfølgende dags farvning og opjustere med ekstra tilsætning af fortykker og farvestoffer mv.

På baggrund af indledende pilotforsøg blev det vurderet, at etablering af et anlæg baseret på en to-trins-behandling (UF+RO) ville kunne opfylde disse tre formål. Der var på beslutningstidspunktet ikke valgt metode til disponering af konzentrat, men det vurderedes, at det ville være muligt at identificere en økonomisk bæredygtig løsning.

Anlægget er etableret i to 30-fods containere placeret uden for produktionshallen. Derudover er der etableret et antal tanke til lagring af ultrafiltrerings-koncentrat. Den samlede investering udgjorde omkring 4 mio.kr.

I dag behandler anlægget 100-120 m³/dag – alt det tidligere spildevand – og derved opstår tre forskellige flows:

- RO-permeat/vand til genbrug – ca. 65-70 m³/d
- Konzentrat fra UF – ca. 15-18 m³/d
- Konzentrat fra RO – ca. 25-30 m³/d

Alt det producerede RO-permeat genbruges, og virksomheden er meget tilfreds med kvaliteten.

Til brug for at skabe den rette viskositet for påføring af farverne, anvendes en såkaldt 'fortykker'. Det har vist sig at fortykkeren har stor betydning for driften af membranlæggene. Dette gav i opstartsperioden – der varede det meste af det første år – en del problemer med fouling af ultrafiltreringsmembranerne. Efter konsultation hos en tysk 'fortykker-specialist' blev der dog styr på dette, og i dag kører anlægget med en ret

stabil flux, der dog falder lidt i løbet af ugen. Omvendt osmose filtreringen har kørt som forventet i hele perioden.

Det blev ret tidligt efter opstarten erkendt, at genanvendelse af UF-koncentratet til farvningerne de efterfølgende dage ikke var muligt på grund af kemiske forandringer i farver og fortykker. Det antages, at dette skyldes manglende biologisk stabilitet, men dette er ikke undersøgt i detaljer. Dette har naturligvis afgørende betydning for anlæggets rentabilitet.

Status med hensyn til disponering af koncenterne er, at disse udledes til det lokale Gram renseanlæg. Der har i nærværende projekt været udført en lang række undersøgelser af mulighederne for at behandle koncenterne, men det har vist sig væsentligt mere problematisk – og dyrere – end antaget, at behandle disse koncenter.

Blandt behandlingsalternativerne for koncenterne tyder de gennemførte laboratorieforsøg på at elektrooxidation den billigste løsning, såfremt forudsætningerne holder. I samlede driftsomkostninger er denne løsning ca. 200 tkr dyrere end udledning af ubehandlet koncentrat. Denne løsning kræver dog en markant investering på – skønnet – ca. 4 mio. kr. dvs. af samme størrelse som investeringen i membrananlægget. Økonomien i etablering af et anlæg til elektrooxidation er dog ganske usikker. Denne type anlæg er langt fra 'hyldevarer', faktisk er der tale om en ganske nyudviklet teknologi som kun anvendes relativt få steder.

Aflevering af UF-koncentratet til en rådnetank virkede umiddelbart som en attraktiv løsning pga. meget begrænsede investeringsomkostninger for virksomheden, men viste sig mindre attraktiv, da det i en laboratorie-undersøgelse viste sig vanskeligt at udrådne indholdsstofferne. Løsningen kan dog ikke helt afskrives, men vil kræve yderligere forsøg med langsom adaptation af biomassen.

Inddampning og tørring er også vurderet, og har ikke overaskende vist sig at være en relativt dyr driftsøkonomisk løsning, såfremt energien til at fordampe vandet skal tilføres som 'ekstra' energi – som det her er forudsat. Kan løsningen i stedet etableres med brug af overskudsenergi fra fabrikkens tørringsanlæg, vil driftsøkonomien naturligvis ændre sig markant, men til gengæld vil det kræve ganske betydelige investeringer – og formodentlig også et betydeligt udviklingsarbejde – at færdigudvikle denne model.

Teknisk har det vist sig at være meget vanskeligt at foretage kemisk fældning på koncenterne. Dette var ellers som udgangspunkt den model virksomheden helst så anvendt, men efter konsultationer hos de fleste danske leverandører af fældningskemikalier – og et par udenlandske – må det konstateres, at denne løsning kun kan realiseres med meget høje dosering af ganske dyre special-kemikalier.

Anbefalingen må således blive, at der arbejdes videre med elektrooxidation ('våd-ox') – eventuelt i kombination med andre løsninger, eller alternativt inddampning/tørring baseret på overskudsvarmen fra tørreprocesserne.

Samlet må det konstateres, at anlægget har gjort det muligt for virksomheden at realisere ambitionen om genbrug af vand. Dette har givet en væsentlig besparelse i forbruget af vand og udledningen af spildevand. Selvom koncentrationerne af særbidagsparametre er væsentligt forhøjede i forhold til situationen inden etablering, er omkostningen til spildevand og særbidrag markant reduceret. Samlet er besparelsen på vand og spildevand ca. 750 tkr. Dette modsvares dog af driftsomkostninger på ca. 500 tkr., så nettobesparelsen er ret begrænset.

Ambitionen om at genanvende farvestoffer og fortykker, er endnu ikke realiseret, og det samme gælder ambitionen om at reducere udledningen af indholdsstoffer i spildevandet. Virksomheden har ikke opgivet disse ambitioner, men har måttet erkende at disse initiativer kræver stor teknisk ekspertise og lang tids udvikling.

Summary

The aim of this project has been to serve as a demonstration project for the establishment of a full-scale integrated water treatment plant using membrane filtration. Egetæpper in Gram established such a plant in autumn/winter 2010 and has kindly made information available.

The project has followed the various phases of the establishment of the plant - from procurement to operation - and this report summarizes the experience and gives the current status, 3-4 years after its establishment. Specifically in relation to concentrate treatment this project has further contributed with testing and evaluation of a variety of methods.

At the time of establishment in 2010 the factory had three main purposes for establishing the treatment plant:

- 1) Reduction of pollution load in wastewater
- 2) Re-use of water
- 3) Recycling of thickener and dyestuffs

Reduction of pollution load in wastewater was desirable partly because of the cost of special fee ('særbidrag') and partly because of a request from the municipality to reduce the emission of special dyes as they had proven difficult to remove in the local Gram wastewater treatment plant.

Re-use of water was desirable because of the cost of purchasing and discharge of water, but also because it was expected that there would be a saving in energy for heating the water. At the same time, water is a focus area for the company and they wanted to make an extra effort in this area.

Recycling of thickener and dyestuffs was desirable due to possible savings in purchasing of these rather expensive chemicals. Experience from abroad pointed out that this was theoretically possible, and the idea was to recycle ultra-filtration concentrate as a starting point for the following day's dyeing and upgrade with an extra addition of thickener and dyestuffs, etc.

Based on the initial pilot study, it was judged that the construction of a plant based on a two-stage treatment (ultrafiltration and reverse osmosis / UF + RO) would be able to meet these three objectives. At the time of decisions, no method for disposal of concentrates was selected, but it was assumed that it would be possible to identify an economically viable solution.

The plant has been established in two 30-foot containers located outside the production hall. In addition, a number of tanks have been installed for the storage of ultrafiltration concentrate. The total investment amounted to about 4 million DKK.

Today the plant is treating 100-120 m³ / day – corresponding to total amount of former sewage - thus creating three different flows:

- RO-permeate / water for recycling - about 65-70 m³/d
- Concentrate from UF - about 15-18 m³/d
- Concentrate from RO - about 25-30 m³/d

All the produced RO permeate is recycled and the company is very pleased with the quality.

To help creating the right viscosity for the application of the colours, a so-called 'thickener' is applied. It has been found that the thickener is of great importance for the operation of membrane plants. This resulted in some problems with fouling of ultrafiltration membranes during the start-up period, which

lasted most of the first year. After consultation with a German 'thickener specialist' these problems were mastered, and today the plant operates with a relatively stable flux - however, with a slight fall during the week. Reverse osmosis filtration has been running as expected throughout the entire period.

Quite early after start-up, it was recognized that recycling of the UF concentrate for preparation of the colouring-mixture the subsequent days was not possible due to chemical changes in colour and thickener. It is believed that this is due to lack of biological stability, but this has not been studied in detail. This is obviously essential for the plant's profitability.

The current status of disposal of the concentrates is that those are being discharged to the local Gram wastewater treatment plants. In this project, numerous studies of the options for treating the concentrates have been conducted, but it has proved considerably more difficult - and more expensive - than assumed to treat these concentrates.

Among treatment alternatives for concentrates, the conducted laboratory experiments with electro-oxidation ('wet-ox') has appeared to be the cheapest option - if the assumptions hold. In total operating costs, this solution is approximately 200 tkr more expensive than discharge of untreated concentrate. But this solution requires a significant investment estimated to approx. 4 million kr. - i.e. the same size as the investment in the membrane plant. Furthermore, the profitability of establishing an electro-oxidation plant is quite uncertain. This type of plant is far from a 'shelf products'. In fact, it is a completely new technology which has only been applied at relatively few places so far.

Initially, delivery of UF concentrate to a digester seemed to be an attractive solution due to the very limited investment costs for the company. But it has proved less attractive since a laboratory examination showed difficulties digesting the compounds in the water. It is, however, too early to completely exclude this solution, but it will require further experiments with slow adaptation of the biomass.

Evaporation and drying were also assessed and have proved to be a relatively expensive operational solution when the energy to evaporate the water has to be supplied as 'extra' energy - as considered in this case. If an alternative solution could be established based on the use of surplus energy from the factory's drying plants, the operational economy would obviously change dramatically. But in return it would require considerable investment - and probably also a significant development activity - to complete the development of this model.

Technically, it has proved to be very difficult to carry out chemical precipitation of the concentrates. This was basically the model preferred by the company, but after consultations with most Danish - and a few foreign - suppliers of precipitation chemicals, it has to be noted that this solution can only be realized with very high dosage of quite expensive special chemicals.

Consequently, the recommendation must be to continue working with the electro-oxidation - possibly in combination with other solutions - or to go for evaporation/drying based on the excess heat from the drying processes.

Overall, it appears that establishing the membrane plant has made it possible for the company to realize the ambition of recycling water. This has given a considerable saving in the consumption of water and wastewater discharges. Although the concentrations of parameter for the calculation of the special fee are much higher compared to the situation before the establishment, the cost for the special fee has been significantly reduced. Generally, the saving on water and wastewater costs amounts to approx. 750 tkr. That, however, is counteracted by operational costs of around 500 tkr., so the net savings are quite limited.

The ambition to recycle dyes and thickener is not yet realized, and the same is true for the ambition to reduce the emission of substances in wastewater. The company has not given up on these ambitions but has had to recognize that these initiatives require high technical expertise and long-term development.

1. Indledning

1.1 Baggrund

Projektet 'Integreret vandbehandling i våd tekstilindustri (TEXI)', der blev afsluttet i foråret 2010, viste at 2-trins membranfiltrering – først ultrafiltrering med keramiske membraner og derefter omvendt osmose med konventionelle membraner – er et meget robust og effektivt koncept ved integreret rensning af vand i våd tekstilbehandling – teknisk, økonomisk og miljømæssigt /1/.

I TEXI projektet indgik en indledende vurdering med hensyn til disponering af koncentraterne, men disse vurderinger var baseret på en række teoretiske overvejelser og antagelser, og manglede således at blive dokumenteret gennem egentlige afprøvninger.

Tæppefabrikken Ege-Tæpper besluttede i 2010 at etablere det samlede TEXI-koncept primært på deres produktion i Gram og efterfølgende måske på fabrikken i Herning. Der blev gennemført indledende vellykkede forsøg med membranfiltreringen, men endeligt valg af koncentrathåndtering udestod på det tidspunkt.

1.2 Formål

Nærværende projekt har overordnet haft til formål at fungere som demonstrationsprojekt ved at følge de forskellige faser i etableringen af anlægget – fra udbud til drift – og evaluere projektet teknisk og økonomisk. Projektet har fulgt de forskellige faser i etableringen af anlægget – fra udbud til drift – og nærværende rapport sammenfatter erfaringerne og giver status, nu 3-4 år efter etableringen

Specifikt i forhold til koncentratbehandling og -disponering har nærværende projekt haft til formål at vurdere en række metoder teknisk og økonomisk.

1.3 Tilgang

Siden opstarten af nærværende projekt har DHI fungeret som sparringspartner i forhold til Ege-tæpper og gennemført en række undersøgelser og analyser. Der er yderligere etableret et samarbejde med Syddansk Universitets Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi som har anvendt casen i forbindelse med kurset 'Industrial Water Technology'. Nogle af undersøgelserne er således gennemført i dette regi.

2. Projektet

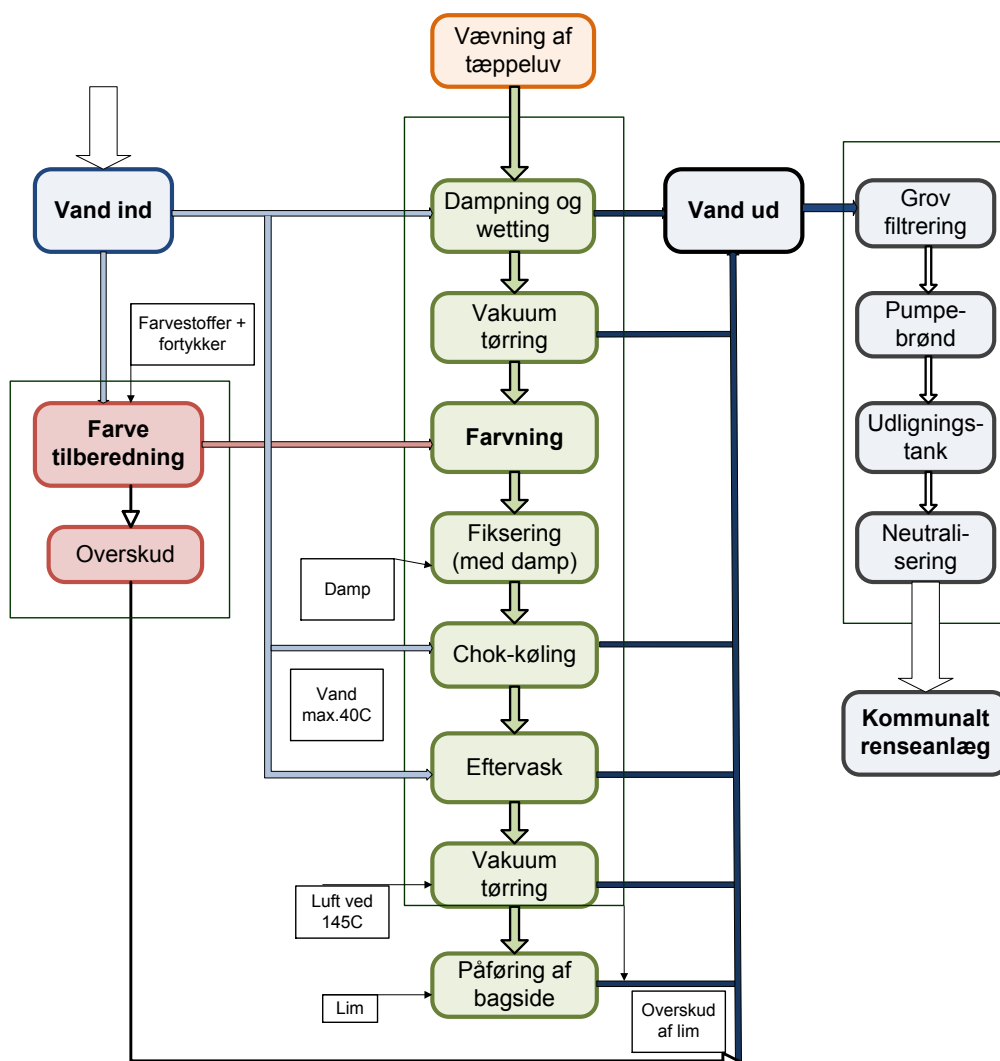
2.1 Ege-tæpper i Gram

2.1.1 Beskrivelse af produktionen

Egetæpper i Gram producerer gulvtæpper i syntetiske fibre, og størstedelen eksporteres. Produktionen består overordnet i tre trin:

- Vævning af tæppeloven
- Farvning af tæppeloven
- Påføring og tørring af bagside

I projektet har fokus naturligt været på farvningen, da det er i dette trin vandforbrug og spildevandsafledning foregår. I figur 1 er princippet i produktionen illustreret.



Figur 1: Princip-diagram for farvning af tæpperne hos Ege-tæpper i Gram.



Farvemaskinen

2.1.2 Formål med etablering af anlægget

Fabrikken havde på etableringstidspunktet i 2010 flere formål med at etablere anlægget:

- 1) Reduktion af forureningsbelastningen i spildevandet
- 2) Genbrug af vand
- 3) Genbrug af fortykkes og farvestoffer

Reduktion af forureningsbelastningen i spildevandet var ønskelig dels på grund af omkostningerne til særbidrag (se nærmere i afsnit 2.3.4), og dels på grund af et ønske fra kommunen om at udledningen af specielt farvestoffer blev reduceret, idet disse i et vist omfang havde vist sig vanskelige at fjerne i det lokale Gram renseanlæg.

Genbruget af vand var ønskeligt på grund af omkostningerne til indkøb og udledning af vandet, men også fordi det forventedes, at der ville kunne spares energi til opvarmning af vandet. Samtidig er vand et indsatsområde på virksomheden, og man ønskede at gøre en ekstra indsats på dette område.

Genbrug af fortykkes og farvestoffer var ønskeligt i forhold til at spare indkøb af disse ret dyre kemikalier. Erfaringer fra udlandet pegede på at dette var teoretisk muligt, og ideen var at genanvende ultrafiltrerings-koncentratet som udgangspunkt for den efterfølgende dags farvning og opjustere med ekstra tilsætning af fortykkes og farvestoffer mv. Anlægget blev derfor etableret med et antal tanke til mellemlagring af ultrafiltrerings-koncentratet. Det skal i den sammenhæng bemærkes at produktionen er tilrettelagt således at det startes med lyse farver først ugen og afsluttes med at farve mørke/sorte farver torsdag-fredag.

På baggrund af indledende pilotforsøg blev det vurderet, at etablering af et anlæg baseret på en to-trins-behandling (UF+RO) ville kunne opfylde disse tre formål.

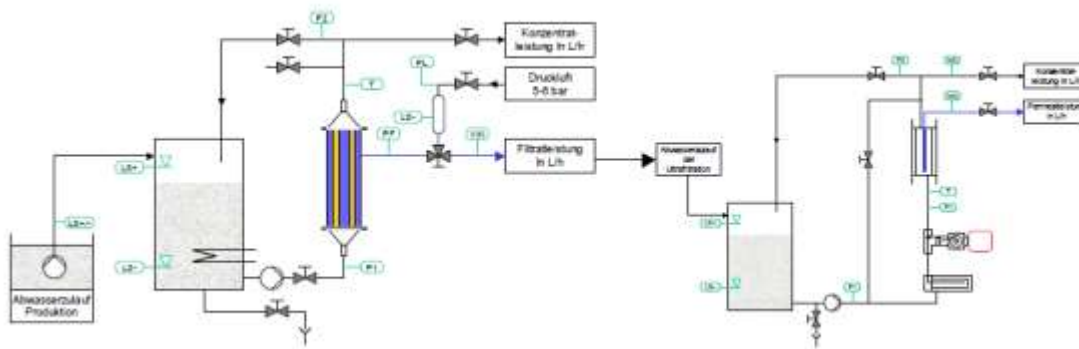
Der var på beslutningstidspunktet ikke valgt metode til disponering af koncentratet, men det vurderedes, at det ville være muligt at identificere en økonomisk bæredygtig løsning.

2.2 Integreret vandbehandling

2.2.1 Metode

Egetæpper i Gram etablerede på denne baggrund i vinteren 2010-11 et to-trins membranfiltreringsanlæg til behandling af vand fra farvningen af tæpperne.

Anlægget består af en enhed med keramiske ultrafiltrerings-filtre (UF) og en efterfølgende enhed baseret på konventionelle spiral-vundne omvendt osmose filtre (RO). Princippet er illustreret i figur 2.¹



Figur 2: Principdiagram for det etablerede to-trins membranfiltreringsanlæg

Grundlæggende har ultrafiltreringsanlægget til formål at beskytte omvendt-osmose membranerne, som på grund af 'spacerne' mellem membranerne vil blive tilstoppet meget hurtigt, hvis der er partikler i vandet.

Ultrafiltreringsanlægget er opbygget med automatisk back-flushing af membranerne. Cirka hvert andet minut etableres et kortvarigt modtryk på bagsiden af membranerne, som bevirker at der sker et 'baglæns' flow gennem membranerne, hvorved eventuel kagedannelse på membranoverfladen løsnes.

Anlægget behandler 100-120 m³/dag – og derved opstår tre forskellige flows:

- RO-permeat/vand til genbrug – ca. 65-70 m³/d
- Koncentrat fra UF – ca. 15-18 m³/d
- Koncentrat fra RO – ca. 25-30 m³/d

Alt det producerede RO-permeat genbruges og virksomheden er meget tilfreds med kvaliteten.

Anlægget er etableret i to 30-fods containere placeret uden for produktionshallen. Derudover er der etableret et antal tanke til lagring af ultrafiltrerings-koncentrat – jf. forklaringen ovenfor.

Nedenfor vises billeder fra anlægget.

¹ For yderligere forklaring af metoden henvises til TEXI-rapporten /1/.



Ultrafiltreringsanlægget – den nederste del af membranrørene ses sammen med en cirkulationspumpe.



Omvendt-osmose-anlægget. Filtrene ses som gule rør til højre i billedet og derudover ses pumpen der sætter tryk - samt i forgrunden doseringspumpe for rengøringsmidler.

2.2.2 Driftserfaringer / Troubleshooting

Til brug for at skabe den rette viskositet for påføring af farverne, anvendes en såkaldt 'fortykket'. Det har vist sig at fortykkeren har stor betydning for driften af membrananlæggene – hvilket også er kendt fra litteraturen /2/.

Da membrananlæggene blev opstartet anvendtes et produkt baseret på Guar. Dette gav en begrænset fouling af UF-membranerne, men satte begrænsning for opkoncentreringen. Efterfølgende blev der i en periode skiftet til en syntetisk fortykker. Denne gav effektiv drift af UF-systemet, men dårligere performance af RO-anlægget – sandsynligvis fordi molekylerne var små nok til at passere UF-membranerne. Senere blev der skiftet til en anden type Guar-baseret fortykker. Denne viste sig dog at blokkere UF-membranerne ret hurtigt.

Ved kontakt til en tysk ekspert i fortykkere² – herunder genvinding af disse – blev det klart, at ud over selve naturen af fortykkeren, er det det kritisk at forstå, hvordan fortykkeren holdes i opløsning under membranfiltreringen, hvor der naturligvis vil ske en betydelig op-koncentrering. For Guar-baserede fortykkere handler dette især om, at calcium-indholdet skal holdes meget lavt, og at pH skal holdes over 7.

Egetæpper ombyggede på denne baggrund deres anlæg, så de kan sikre, at pH i 'feeden' til UF-membranerne holdes over 7, og dette har reduceret foulingen betydeligt og givet en mere stabil drift.

Denne ekspert anbefalede derudover at overveje anvendelse af Carboxymethylcellulose (CMC) eller syntetiske fortykkere, da disse ikke udfælder lige så let som Guar. Denne mulighed er dog ikke undersøgt nærmere.

Siden efteråret 2011 har anlægget været i stabil drift. I løbet af ugen falder fluxen gennem UF-membranerne en smule, men er stadig på et acceptabelt niveau.

Rengøring af UF-filtrene foretages (automatisk) i weekenden. RO-filtrene renses for hver 40 m³ permeat. Rengøringsmidlerne koster samlet 40-50 tkr per år.

Der har ikke været behov for at skifte omvendt osmose membraner endnu.

De keramiske ultrafiltrerings-membraner forventes at have en levetid på mindst 20 år.

2.2.3 Anlæggets driftsøkonomi

Anlæggets driftsøkonomi er naturligvis en vigtig parameter i forhold til vurderingen af om investeringen har været rentabel/relevant, set med virksomhedens øjne. Nedenfor er de væsentligste driftsomkostninger opgjort – jf. tabel 1.

Tabel 1: Opgørelse af membrananlæggets omtrentlige driftsøkonomi

Driftsomkostninger		UF	RO	Samlet
Kapacitet	m ³ /døgn	110	94	
Forbrug af elektricitet	kWh/time	81,5	7,5	89
Forbrug af elektricitet	kWh/år	430.320	39.600	469.920
Pris for elektricitet	kr/år	408.804	37.620	446.424
Rengøringskemikalier	kr/år	20.000	30.000	50.000
Udskiftning af membraner	kr/år	-	18.750	
Udskiftning hvert	antal år		2	
Pris for nye membraner	kr		37.500	
Samlet	kr/år	428.804	86.370	496.424

² Reinhold Schneider (reinhold.schneider@itcf-denkendorf.de)

Det skal bemærkes, at der ikke foreligger målinger af elektricitetsforbruget. Opgørelsen er baseret på leverandørens skøn i forbindelse med tilbud/levering af anlægget. Prisen for elektricitet er 0,95 kr/kWh og der er regnet med 5.280 driftstimer per år (22 timer per døgn).

Som det fremgår, ligger de samlede driftsomkostninger omkring 0,5 mio.kr. eksklusiv mandskab og vedligeholdelse/reservedele ud over selve membranerne. Dette skal holdes op imod de opnåede besparelser i vand/spildevand m.v.

Det blev ret tidligt efter opstarten erkendt, at genanvendelse af UF-koncentratet til farvningerne de efterfølgende dage ikke var muligt på grund af kemiske forandringer i farver og fortykker. Det antages, at dette skyldes manglende biologisk stabilitet, men dette er ikke undersøgt i detaljer. Dette har naturligvis afgørende betydning for anlæggets rentabilitet.

Anlægget har givet en væsentlig besparelse i forbrug af vand og udledning af spildevand, og selvom koncentrationerne af særbidragsparametre er væsentligt forhøjede, i forhold til situationen inden etablering, er omkostningen til spildevand og særbidrag markant reduceret – jf. tabel 8. Samlet er besparelsen på vand og spildevand ca. 750 tkr. Dette modsvares dog af driftsomkostninger på ca. 500 tkr., så nettobesparelsen er ret begrænset – jf. tabel 2. Bemærk at opgørelsen ikke indeholder opgørelse over de (mindre) besparelser i gas til vandopvarmning.

Tabel 2: Overblik over driftsomkostninger relateret til vand/spildevand for Egetæpper i Gram uden og med etableringen af membranfiltreringsanlægget.

	Uden membran-anlæg	Med membran-anlæg
Forudsætninger		
Spildevandsudledning pr år (m3)	26.400	-
Koncentratvolumen pr år (m3)		10.700
Driftsudgifter pr år (DKK)		
Omkostninger til indkøb af vand	247.100	121.400
Afledning af spildevand/koncentrat (inkl. særbidrag)	1.403.300	694.500
Drift af behandlingsanlæg	-	496.400
Besparelse i vandindkøb	-	(58.100)
Samlet	1.650.400	1.254.300

2.3 Disponering af koncentreter

Som nævnt indledningsvis, har valg af koncentrationer været et centralt tema for projektet. Nedenfor præsenteres derfor en sammenfatning af de gennemførte analyser.

Koncentraterne fra membranfiltrering kan helt generelt disponeres på mange forskellige måder – afhængigt af karakteren af indholdsstofferne – jf. tabel 3.

Tabel 3: Oversigt over potentielle disponeringsalternativer for koncentreterne fra membranfiltrering.

Slut-disponering:	- velegnet til:	Eksempler	Mulig/nødvendig behandling
Genvinding af specifikke indholdsstoffer	Situationer hvor indholdet af specifikke stoffer gør det økonomisk attraktivt at genvinde disse	Fortykkere Fosfor	- afhænger af det specifikke stof i fokus
Afledning som spildevand til kommunalt renselanlæg (Hvis dette er praksis)	Bionedbrydeligt materiale / organisk stof Næringssalte	Vand fra vask/rengøring med bionedbrydelige vaske-/rengøringsmidler	Ingen yderligere behandling
Aflevering til biogas-anlæg – enten på renselanlæg eller i landbruget	Bionedbrydeligt materiale / organisk stof i meget høje koncentrationer	Bi-produkter fra levnedsmiddelindustri e.l.	Håndteres typisk flydende ved transport i tankbiler
Anvendelse som jordforbedringsmiddel/ gødningsmiddel i landbruget	Bionedbrydeligt materiale/organisk stof i meget høje koncentrationer Inerte uorganiske materialer (f.eks. sand/jord)	Bi-produkter fra levnedsmiddelindustri e.l.	Håndteres typisk flydende ved transport i tankbiler Kan eventuelt afvandes/tørres
Affaldsforbrænding med efterfølgende deponering af asken	Organisk materiale – især ikke biologisk nedbrydelige materialer/ stoffer	Bi-produkter fra tekstilindustri / plastforarbejdende industri	Kræver normalt afvanding til lavt vandindhold
Deponering i kontrollerede affaldsdepoter	Inert uorganisk materiale med begrænset indhold af forurenende stoffer – f.eks. tungmetaller	Sand/jord	Kræver normalt afvanding til lavt vandindhold
Aflevering til kemisk destruktionsanlæg	Farlige stoffer – organiske og uorganiske	Biprodukter fra kemisk industri f.eks. maling/lak	Håndteres normalt i flydende form

Valget af metode til behandling/håndtering afhænger, som det fremgår, blandt andet af den valgte slutdisponering. Derudover spiller det naturligvis også en rolle, hvordan koncentreterne 'performer' i den valgte behandlingsmetode. Dette aspekt uddybes i afsnittene om de gennemførte behandlingsundersøgelser nedenfor.

Ved valget af metoder til nærmere undersøgelse, er det afgørende at forstå 'beskaffenheden' af de komponenter der indgår i koncentreterne, og der er derfor indledningsvis gennemført en vurdering af de anvendte kemikalier – jf. næste afsnit.

2.3.1 Vurdering af de anvendte kemikalier

I produktionen indgår følgende typer kemikalier:

- Farvestoffer (azo-farvestoffer)
- Fortykkere
- Diverse øvrige hjælpestoffer

En gennemgang af datablade på produkterne viser, at størstedelen af disse stoffer er relativt langsomt (aerobt) biologisk omsættelige, men begrænset giftige. Dette bekræftes af, at nogle af farvestofferne 'slår igennem' det biologiske renselanlæg der p.t. modtager spildevandet. Yderligere viser en Oxygen Uptake Rate måling at kun ca. 10-20% af COD er letomsætteligt /3/.

Dette taler således for at undgå biologiske metoder i forbindelse med håndtering af koncentrerne.

Niveauet af COD i det samlede spildevand (ca. 5.000 mg/l – inden etablering af integreret vandbehandling) kan forklares af de anvendte kemikalier (se tabel 4).

Dette indikerer at langt størstedelen af indholdsstofferne i koncentrerne har deres oprindelse i de tilsatte kemikalier - og at bidraget, der frigøres fra de behandlede materialer, er ubetydeligt.

Tabel 4: Vurdering af de anvendte kemikalier og farvestoffer (2010 data)

	Bio-nedbrydelighed (%)	Årligt forbrug (kg)	Anslået % i spildevand	Anslået årlig udledning (kg)	Anslået COD (g COD/g produkt)	Anslået gennemsnits COD bidrag (mg COD/l)
Hjælpestoffer						
Nummer 1		8.329	100%	8.329	1,5	416
Nummer 2	90	365	50%	183	2,5	15
Nummer 3	97	1.800	50%	900	2,5	75
Nummer 4	>80	9.520	50%	4.760	2,5	397
Nummer 5	50	4.860	50%	2.430	2,5	203
Nummer 6	40	39.380	50%	19.690	2,5	1.641
Nummer 7	22	540	50%	270	2,5	23
Nummer 8	68	12.899	50%	6.450	2,5	537
Nummer 9		9.678	100%	9.678	2,5	807
Nummer 10	20-70	17.050	50%	8.525	2,5	710
Nummer 11	<20	429	50%	215	2,5	18
Nummer 12	20-70	354	50%	177	2,5	15
Farvestoffer						
Gul		1.900	20%	380	2	25
Rød		4.000	20%	800	2	53
Blå		2.375	20%	475	2	32
Rød (kationisk)		459	20%	92	2	6
Blå (kationisk)		949	20%	190	2	13
Gul (kationisk)		301	20%	60	2	4
Sum		115.188		63.602		4.989

På denne baggrund er det valgt at fokusere på koncentrathåndteringsløsninger der ikke inkluderer biologisk nedbrydning. Dog er det vurderet – og undersøgt – om aflevering direkte til en rådnetank kunne være en brugbar model.

2.3.2 Oversigt over screenede disponeringsalternativer

Følgende disponeringsalternativer er nærmere vurderet/undersøgt:

UF-koncentrat:

- UFO: Udledning til Gram renseanlæg (ubehandlet)
- UF1: Aflevering til rådnetank på Vojens renseanlæg
- UF2: Aflevering til forbrændingsanlæg efter inddampning og tørring
- UF3: Aflevering til forbrændingsanlæg efter kemisk fældning
- UF4: Udledning til Gram renseanlæg efter kemisk oxidation

RO-koncentrat:

- RO0: Udledning til Gram renseanlæg (ubehandlet)
- RO1: Udledning til Gram renseanlæg efter kemisk oxidation

2.3.3 Massebalance

Til brug for vurdering af de forskellige disponeringsalternativer er der udarbejdet en omtrentlig massebalance for anlægget – jf. tabel 5 og tabel 6 baseret på diverse analyser og opgørelser af flows efter at anlægget kom i stabil drift.

Tabel 5: Massebalance over det etablerede membranfiltreringsanlæg

	Volumen (m ³ /h)	Tørstof (kg/h)	COD (kg/h)	Nitrogen (kg/h)	Fosfor (kg/h)
RO permeat (til genbrug)	66	2,50	35	0,4	0,02
RO koncentrat	28	350	245	5,6	2,9
UF koncentrat	16,5	200	160	2,8	0,9

Tabel 6 viser de beregnede gennemsnitskoncentrationer. Disse har vist sig at stemme godt overens med de målinger, der er foretaget på de enkelte strømme.

Tabel 6: Beregnede gennemsnitskoncentrationer

	Tørstof (mg/l)	COD (mg/l)	Nitrogen (mg/l)	Fosfor (mg/l)
RO permeat (til genbrug)	37,5	540	6,4	0,32
RO koncentrat	12.400	8.740	200	104
UF koncentrat	12.100	9.700	170	55

Disse tal udgør grundlaget for beregning af omkostningerne til de forskellige disponeringsmuligheder for koncentratene, herunder særbidragsomkostninger ved afledning som spildevand.

2.3.4 Beregningsmodel for afledning til Gram Renseanlæg

Afledning til det kommunale renseanlæg afregnes efter en helt typisk dansk model, idet der dels betales en volumenafgift og dels et særbidrag for særligt forhøjede koncentrationer af enkelte parametre.

Volumenafgiften for vandafledning er 31,00 kr per m³. Indkøb af vandet koster 8,00 kr per m³.

Særbidraget beregnes efter formlen:

Særbidrag for parameter x

= (Koncentrationen (parameter x) – Afregningsgrænse (parameter x)) / 1000 * Pris (parameter x).

Hvis den beregnede værdi er større end 0, regnes den med, ellers regnes med 0.

Særbidragsparametrene er COD, total kvælstof og total fosfor og afregningsværdierne for disse parametre er vist i tabel 7.

Tabel 7: Afregningsparametre for særbidrag, Gram Renseanlæg

	Afregningsgrænse (mg/l)	Pris (2010) (kr.)
COD	1000	2,58
Total kvælstof	90	6,70
Total fosfor	16	20,60

Til beregning af vandafledningsomkostningerne for de forskellige koncentratdisponeringer er der opstillet en lille model til beregning af vandafledningsafgift og særbidrag. I tabel 8 er de beregnede volumener og gennemsnitskoncentrationer angivet sammen med de beregnede omkostninger.

Table 8: Beregnede volumener og gennemsnitskoncentrationer samt beregnede afledningsomkostninger for de vurderede alternativer.

			UF0	UF2	RO1	RO2	RO3
		Inden behandling	Ubehandlet UF-konc. til RA	Fældet UF- konc. til RA	Ubehandlet RO-konc. til RA	Fældet RO- konc til RA	Oxideret RO-konc til RA
Samlet volumen	m³/år	26.400	3.960	3.960	6.732	6.732	6.732
COD	mg/l	5.000	9.667	1.933	8.740	1.748	874
Kvælstof	mg/l	110	171	85	198	99	198
Fosfor	mg/l	50	55	5	104	10	104
Pris for COD	DDK/m ³	10,32	22,36	2,41	19,97	1,93	0,00
Pris for N	DDK/m ³	0,13	0,54	0,00	0,73	0,06	0,73
Pris for P	DDK/m ³	0,70	0,80	0,00	1,82	0,00	1,82
Samlet særbidrag	DKK/year	294.476	93.854	9.536	151.562	13.407	17.130
Spildevands- volumenpris	DKK/year	1.108.800	166.320	166.320	282.744	282.744	282.744
Samlede udlednings- omkostninger	DKK/year	1.403.276	260.174	175.856	434.306	296.151	299.874

Tabellen indikerer den omtrentlige besparelse i spildevandsomkostninger ved at etablere membranfiltreringsanlægget, idet omkostningerne falder fra ca. 1,4 mio.kr. til ca. 700 tkr. – forudsat fortsat udledning af koncentratene som spildevand.

Dermed viser disse beregninger også omkostningerne til alternativ UF0 og RO0 – fortsat udledning til Gram Renseanlæg uden yderligere behandling.

Dette er set fra virksomhedens synspunkt klart den enkleste løsning, da dette ikke forudsætter etablering og drift af yderligere anlæg – og dette er også den nuværende status. Men det forudsætter naturligvis, at kommunen accepterer de væsentlig forhøjede koncentrationer, og dette er fortsat usikkert.

2.3.5 UF1: Aflevering af UF-koncentrat til rådnetank på renseanlæg

Fra litteraturen er det kendt at azo-farvestoffer med fordel kan nedbrydes i to trin; først anaerobt (åbning af benzen-ring) og derefter aerobt hvor den resterende nedbrydning foregår.

Det vurderedes derfor som en mulig løsning at aflevere UF-koncentratet til en rådnetank på et kommunalt renseanlæg, idet vandfasen efterfølgende behandles aerobt i renseanlægget.

I Haderslev kommune har Vojens renseanlæg rådnetank med efterfølgende slam-mineralisering. Slammet udbringes ikke på landbrugsjord (jf. spildevandsplan 2008-2012).

Transporten kan eksempelvis ske ved hjælp af 2-3 tank-sættelad som fyldes hos Egetæpper og transporteres til Vojens, hvor koncentratet ganske langsom pumpes til rådnetanken.

Denne løsning skal naturligvis vurderes nærmere i samarbejde med Haderslev kommune.

Table 9 viser økonomisk overslag for denne løsning.

Tabel 9: Økonomisk overslag for transport af UF-koncentrat til rådnetank på Vojens renseanlæg.

Udgiftstype	Enheder	Værdi
Volumen til transport	m ³ /d	16,5
Antal driftsdage		240
Samlet årligt volumen	m ³ /år	3.960
Kørsel	DKK/m ³	75
Aflevering Vojens renseanlæg	DKK/m ³	125
Samlet årlig drift	DKK	792.000
Driftsomkostninger per m ³	DKK/m ³	200,00

Det skal pointeres at både kørsel og afleveringsafgift er skønnede tal.

2.3.6 UF2: Aflevering til forbrændingsanlæg efter inddampning og tørring

Inddampning og tørring vil kunne udføres på flere forskellige måder. Der har i projektet været kontakt til tre forskellige potentielle danske leverandører:

Inddampning vil kunne etableres af firmaet Bjørnkjær³, som mener, der hensigtsmæssigt kan etableres et system hvor der kombineres med overskudsvarme i tørre-luften fra tæpperne. De ønsker dog ikke at levere et anlæg til varmegenvinding fra tørreluften, men henviser i stedet til Vestas Aircoil.

Fra tørringen af tæpperne opstår tørreluft fra fire forskellige tørringsanlæg:

- Anlæg til tørring af tæppeluften: 30.000 m³/time og 15.000 m³/time ved 130C⁴.
- Anlæg til tørring af færdige tæpper: 50.000 m³/time og 30.000 m³/time ved 150C

For dette koncept er det afgørende at varmen kan afsættes et andet sted i produktionen. Typisk vil der produceres 70C varmt vand, eller varmen kan afsættes til forvarmning af friskvand. Fa. Bjørnkjær skønner investeringen til omkring 2,5 mill. kr. for selve inddampningsenheden.

Såfremt man ønsker at gå videre med denne tilgang, skal der indledningsvis gennemføres undersøgelser af om tørreluften afsætter materiale i vekslerne ved afkøling, da dette er afgørende for mulighederne for varmeveksling.

Alternativt vil firmaet Envotherm kunne etablere et 'stand-alone' anlæg drevet af elektricitet (med mekanisk re-kompression). Denne løsning er ikke undersøgt nærmere.

Alternativt vil firmaet Danese kunne etablere et anlæg drevet af damp (jf. tilbud fra Aage Christensen)⁵. Der er indhentet tilbud på et 20t/dag inddampningsanlæg – som forbehandling inden efterfølgende tromletørring. Det er endnu ikke præcist afklaret, om det vil være muligt at inddampe til et højere tørstof end de forudsatte 10%.

Inddampningsanlægget bruger ca. 0,6 kg damp ved 5 bar pr. kg vandfordampning.

Budgetprisen for det her beskrevne komplette, container-monterede anlæg til behandling af 20m³/dag er € 175.000 (ca. 1,3 mill kr.).

Tørring vil eksempelvis kunne udføres med valse-tørrer f.eks. leveret af firmaet Aage Christensen as . Generelt er tørring er dog ret dyr i drift – kræver 1,2-1,4 kg damp for hvert kg fordampet vand – og bør derfor etableres om en slut-behandling af inddamper-koncentrat eller fældnings-koncentrat.

³ I projektet har der været kontakt til Rune Blegvad Jensen (86240500)

⁴ Egetæpper undersøger p.t. om dette varmeoverskud kan afleveres til lokal fjernvarme. Det lokale fjernvarmeanlæg er nabo til virksomheden.

⁵ I projektet har der været kontakt til Ulrich de Neergaard (fa. Aage Christensen as) (20404024)

Tabel 10 viser et samlet økonomisk overslag for inddampning og tørring baseret på anlæg fra Danese/Aage Christensen as.

Tabel 10: Økonomisk overslag for inddampning og tørring

Udgiftstype	Enheder	Værdi
Volumen til inddampning	m ³ /d	16,5
Antal driftsdage		240
Samlet årligt volumen	m ³ /år	3.960
Dampforbrug til tørring	ton/år	1.980
kg damp per m ³ naturgas	kg/m ³ NG	15
Volumen naturgas	m ³ /år	132.000
Pris per m ³ naturgas	DKK/m ³	3,70
Samlede omkostninger inddampning	DKK/år	488.400
Volumen til tørring	m ³ /år	396
Dampforbrug til tørring	ton/år	515
kg damp per m ³ naturgas	kg/m ³ NG	15
Volumen naturgas	m ³ /år	34.320
Pris per m ³ naturgas	DKK/m ³	3,70
Samlede omkostninger tørring	DKK/år	126.984
Volumen til transport	ton/år	59
Kørsel	DKK/ton	250
Afleveringsafgift	DKK/ton	750
Omkostninger til disponering	DKK/år	59.400
Samlede årlige omkostninger	DKK/år	674.784
Sparet volumen vand	m ³ /år	3.564
Pris vand ind/ud (ex. særbidrag)	DKK/m ³	50
Årlig besparelse på vand	DKK/år	178.200
Årlige nettoomkostninger	DKK/år	496.584
Driftsomkostninger per m ³	DKK/m ³	125,40

Som beskrevet vil driftsomkostningerne til denne løsning kunne reduceres markant, såfremt den baseret på udnyttelse af energien i tørreluften. Dette vil dog selvklart øge investeringen, og dette er ikke undersøgt nærmere.

2.3.7 UF3: Aflevering til forbrændingsanlæg efter kemisk fældning

Ege-tæpper har i hele forløbet været mest opsat på en løsning, hvor der udføres en kemisk fældning af UF-koncentratet og det udfældede materiale afleveres til forbrændingsanlæg. Udfældning af indholdsstofferne og en efterfølgende filtrering (eller centrifugering) har været undersøgt i en lang række forsøg i både laboratorie- og pilot-skala – jf. beskrivelse af de gennemførte undersøgelser i afsnit 2.4.3.

Af de undersøgte metoder, har metoden fra *combikem* været den mest overbevisende. Firmaet oplyser at kemikalierne til denne behandling koster ca. 192 kr. per m³ koncentrat. Dertil kommer disponering af koncentratet.

Tabel 11 viser et samlet skønnet overslag over driftsomkostningerne til denne løsning.

Table 11: Samlet skønnede driftsomkostninger for kemisk fældning og aflevering af koncentrat til forbrændingsanlæg.

Udgiftstype	Enheder	Værdi
Volumen til fældning	m ³ /d	16,5
Antal driftsdage		240
Samlet årligt volumen	m ³ /år	3.960
Årlige omkostninger til kemikalier	DKK/år	764.280
Volumen til presning	m ³ /år	396
Dosering kemikalie 4 Polymer	g/l	0,20
Forbrug af kemikalie 4	kg/år	79
Pris for kemikalie 4	DKK/kg	25,00
Årlige omkostninger til kemikalie 4	DKK/år	1.980
Elektricitetsforbrug - begge anlæg	kWh/dag	40
Pris per kWh	DKK/kWh	0,80
Årlige omkostninger	DKK/år	7.680
Volumen til transport	ton/år	59
Kørsel	DKK/ton	250
Afleveringsafgift	DKK/ton	750
Omkostninger til disponering	DKK/år	59.400
Samlede årlige omkostninger	DKK/år	833.340
Sparet volumen vand	m ³ /år	3.901
Pris vand ind/ud (ex. særbidrag)	DKK/m ³	50
Årlig besparelse på vand	DKK/år	195.030
Årlige nettoomkostninger	DKK/år	638.310
Driftsomkostninger per m ³	DKK/m ³	161,19

Løsningen er baseret på at det udfældede slam afvandes i en filterpresse og efterfølgende afleveres til forbrændingsanlæg. Det er yderligere forudsat at det rensede vand kan genanvendes i produktionen – eventuelt efter membranfiltrering.

2.3.8 UF4: Udledning til Gram renseanlæg efter kemisk oxidation

Kemisk oxidation er ifølge litteraturen og de indledende forsøg i laboratoriet – se afsnit 2.4.4 - en relevant metode.

For løsningen taler, at belastningen med farvestoffer og COD i spildevandet vil blive reduceret væsentligt (skønnet 90%), mens N og P vil blive udledt i uændrede mængder.

En helt afgørende fordel ved denne metode er, at der ikke produceres nogen 'biprodukter' i form af nye koncentreter der kræver behandling og håndtering. Vandet vil efter behandlingen indeholde forskellige nedbrydningsstadier af de behandlede kemikalier, og det bør derfor undersøges om disse er 'uskadelige' i forhold til afledning til et kommunalt renseanlæg.

Baseret på de beregnede koncentrationer, er særbidrag for denne løsning beregnet og sammenholdt med den oprindelige belastning. Som det fremgår af tabel 8, forventes denne metode at reducere særbidraget væsentligt således at de samlede spildevandsomkostninger reduceres til ca. 250 tkr./år (mod et udgangspunkt på 330 tkr./år for denne strøm).

I DK leverer fa. Electrocell anlæg til elektrooxidation. Der har været kontakt til firmaet⁶, der dog ikke ønskede at oplyse en pris før de havde mere præcise oplysninger til dimensionering af anlægget. Der er derfor i overslaget for investering anvendt en skønnet overslagspris på 2 mio. kr.

I tabel 12 vises økonomisk overslag for denne løsning.

Tabel 12 : Skønnede driftsomkostninger til elektrokemisk oxidation af UF-koncentratet.

Udgiftstype	Enheder	Værdi
Volumen til behandling	m ³ /d	16,5
Antal driftsdage		240
Samlet årligt volumen	m ³ /år	3.960
Dosering af natriumklorid	g/l	10
Forbrug af natriumklorid	kg/år	39.600
Pris for natriumklorid	DKK/kg	0,50
Årlige omkostninger til kemikalier	DKK/år	19.800
Elektricitetsforbrug	kWh/m ³	50
Elektricitetsforbrug	kWh/dag	825
Pris per kWh	DKK/kWh	0,80
Årlige omkostninger	DKK/år	158.400
Samlede årlige omkostninger	DKK/år	178.200
Driftsomkostninger per m ³	DKK/m ³	45,00

Det skal bemærkes, at der fortsat/yderligere vil være en omkostning til afledning af spildevandet – jf. tabel 8.

2.3.9 RO1: Udledning til Gram renseanlæg efter kemisk oxidation

For RO-koncentratet er der reelt kun fundet en velegnet metode til behandling/disponering nemlig elektrokemisk oxidation. Kemisk fældning har ikke vist sig muligt, og inddampning/tørring er på forhånd skønnet at blive for dyr en løsning.

Som det fremgår af tabel 8 forventes metoden at reducere særbidraget til ca. 420 tkr./år (mod et udgangspunkt på 555 tkr./år for denne strøm).

I tabel 13 vises økonomisk overslag for denne løsning.

Det skal bemærkes, at der fortsat/yderligere vil være en omkostning til afledning af spildevandet – jf. tabel 8.

⁶ Troels Christensen, tlf.: 97 37 44 99

Tabel 13: Driftsomkostninger til elektrokemisk oxidation af RO-koncentratet.

Udgiftstype	Enheder	Værdi
Volumen til behandling	m ³ /d	28
Antal driftsdage		240
Samlet årligt volumen	m ³ /år	6.732
Dosering af natriumklorid	g/l	10
Forbrug af natriumklorid	kg/år	67.320
Pris for natriumklorid	DKK/kg	0,50
Årlige omkostninger til kemikalier	DKK/år	33.660
Elektricitetsforbrug	kWh/m ³	25
Elektricitetsforbrug	kWh/dag	701
Pris per kWh	DKK/kWh	0,80
Årlige omkostninger	DKK/år	134.640
Samlede årlige omkostninger	DKK/år	168.300
Driftsomkostninger per m ³	DKK/m ³	25,00

2.4 Gennemførte undersøgelser af koncentrerne

Grundlaget for de økonomiske beregninger ovenfor er en lang række undersøgelser af koncentrerne gennemført i perioden 2011-2014. Disse undersøgelser omfatter:

- Måling af biogas-potentiale
- Laboratorieforsøg med inddampning
- Forsøg med kemisk fældning
- Forsøg med elektro-oxidation

Undersøgelserne og resultaterne af dem er nærmere beskrevet i det følgende.

2.4.1 Måling af biogas-potentiale

Måling af biogas-potentiale af UF-koncentratet er forsøgt målt på SDU i foråret 2014. Det viste sig dog ikke muligt at få processen i gang, selv om der blev arbejdet med relativt lave doseringer i forhold til innoculum.

Det skal pointeres, at dette ikke er en endelig afvisning af muligheden for at etablere en behandling i en rådnetank, idet det anvendte innoculum/biogas-slam var fra et biogasanlæg for gylle, og biomassen var derfor ikke på nogen måde var adapteret til kemikalierne i UF-koncentratet.

Samtidig må det dog konkluderes, at metoden ikke virker specielt lovende, og da de økonomiske vurderinger heller ikke var attraktive, blev det besluttet ikke at gennemføre yderligere undersøgelser af dette.

2.4.2 Laboratorieforsøg med inddampning

Inddampning kan principielt anvendes på alle typer koncentrat, og der er udført et lille forsøg med begge typer koncentrat i 2012.

Undersøgelsen er udført i en laboratorie vakuum inddamper med ca. 100 ml prøve og en temperatur på ca. 60°C og et tryk på ca. 0,1 bar. Efterfølgende er kondensatet analyseret for COD, pH og ledningsevne – jf. tabel 14.

Tabel 14: Analyser af kondensat efter inddampning.

	COD (mg/l)	pH	Ledningsevne µS/cm
UF	133.5	8.85	74.3
RO	103.7	8.85	83.8

De relativt høje COD koncentrationer skyldes formodentlig overslæb af ammonium, der giver et falsk bidrag i denne analyse.

Laboratorieforsøgene indikerer at inddampning vil kunne bringe tørstoffet op på ca. 20-30 % - svarende til mindst 10 gange reduktion af volumen - før koncentratet bliver så viskøst, at det ikke længere kan cirkuleres i inddamperen.

2.4.3 Forsøg med kemisk fældning

Forsøg med kemisk fældning af både UF og RO koncentrerne har været gennemført af mange omgange i hele perioden 2011-2014. Fokus for undersøgelserne har primært været på UF-koncentratet, da dette forventedes at være mest tilgængeligt for fældning pga. af større molekylestørrelse. I slutningen af perioden blev det dog erkendt at UF-koncentratet allerede er opkoncentreret så meget, at det er meget vanskeligt at gennemføre en separation, og der er derfor også gennemført forsøg med det ubehandlede spildevand fra produktionen.

Nedenfor – i tabel 15 - vises en oversigt over de gennemførte forsøg.

Tabel 15: Oversigt over gennemførte fældningsforsøg:

Metode	Leverandør af fældningskemikalier	Resultat/kommentar
Brændt kalk, PAX og polymer	Dankalk og Kemira Miljø	Metoden blev gennemført med rimelig succes i 2011 – dvs. at der kunne etableres en klar vandfase uden nævneværdig farve – men senere har det være umuligt at reproducere testen – formodentlig pga. ændringer i koncentratets sammensætning (anden fortykker).
Texaflok (et fældningskemikalie specielt udviklet til farverispildevand)	InoTEX	Afprøvet i laboratoriet i 2011, men med meget dårlig effekt. Ingen flokdannelse – ingen klar vandfase.
Montalkal 1007 plus og Liqui Crack 31	combikem	Afprøvet i leverandørens laboratorium i 2012 med godt resultat. Klar farveløs vandfase.
Fældning med produkter fra Nalco	Nalco	Indledende laboratorieforsøg tegnede lovende og der blev derfor gennemført pilotforsøg i efteråret 2012. Disse gav dog ikke de ønskede resultater – utilstrækkelig COD-reduktion og uklar farvet vandfase.
Udviklingsprodukt	Kemira Miljø	Laboratorieforsøg med dette produkt viste i 2013 god effekt, men med ret høj dosering. Senere blev det klart, at Kemira ikke ønskede at producere/markedsføre produktet.
C515LF	Kemira	Laboratorieforsøg i 2014 med dette produkt på det ubehandlede spildevand viste god effekt målt både med Zeta-potentiale målinger, i forhold til COD-reduktion og klarhed af vandfasen. Der krævedes dog en meget høj dosering...
Colorsorb C 103	Bo Jensen Vandbehandling	Laboratorieforsøg i 2014 med dette produkt på det ubehandlede spildevand viste god effekt målt både med Zeta-potentiale målinger, i forhold til COD-reduktion og klarhed af vandfasen. Der krævedes dog en meget høj dosering...
Saduren	BASF	Laboratorieforsøg i 2014 med dette produkt på det ubehandlede spildevand viste ingen effekt.
Udviklingsproduktet PASC	Bollerup Jensen	Laboratorieforsøg i 2014 med dette produkt på det ubehandlede spildevand viste ingen effekt.

De mest lovende behandlinger har været *combikem*'s metode samt fældningerne med C515LF og Colorsorb C103. Med disse behandlinger er det muligt at producere en klar vandfase med et meget begrænset COD indhold.

Med *combikem*'s metode opnås en helt vandklar vandfase, men med et betydeligt forbrug af de to involverede fældningskemikalier Montalkal 1007 plus og Liqui Crack 31 – henholdsvis 25 l/m³ og 0,4 l/m³ UF-koncentrat. Dette fører til en samlet pris for behandlingen på 192 kr per m³.



Figur 3: Før og efter behandling med Montalkal 1007 plus og Liqui Crack 31 – combikem's metode.

Undersøgelserne med C515LF og Colorsorb C103 er hovedsageligt udført på det ubehandlede spildevand, men en mindre undersøgelse direkte på UF-koncentratet. Undersøgelserne er udførligt beskrevet i bilag 1. Undersøgelserne af UF-koncentratet viser, at der kræves omkring 40 l produkt per m³, svarende til en pris for kemikalier alene på ca. 480 kr per m³.

Alternativt kan behandlingen som nævnt ske på det ubehandlede spildevand – altså inden membranfiltreringerne. Her viser undersøgelserne, at der kræves omkring 10 l/m³, men dette handler så også om ca. 4 gange så stort et volumen. Denne behandling kan dog have nogle fortrin i forhold til eventuelt at reducere foulingen i UF-membran-anlægget og måske også mulighed for øget opkoncentrering – og dermed øget recovery af vand. Dette er dog ikke undersøgt nærmere.

For begge disse behandlere kommer der naturligvis yderligere omkostninger til behandling og bortskaffelse af slammet – jf. afsnit 2.3.7.

2.4.4 Forsøg med kemisk oxidation

Kemisk eller elektrokemisk oxidation er kendt for at kunne nedbryde farvestoffer og andet COD /4/. Kemisk oxidation vurderes primært relevant for RO-koncentratet eller det ubehandlede spildevand, da UF-koncentratet indeholder meget store komplekse molekyler i meget høje koncentrationer – og det derfor vil tage meget lang tid at nedbryde molekylerne.

Kemisk oxidation kan udføres på mange måder, bl.a.:

- Avanceret oxidation – f.eks. kombination af ozon og UV-belysning
- Katalyseret af jern – Fentons metode
- Elektrokemisk oxidation – hvor oxidationspotentialet skabes elektrisk

Fokus har været på den elektrokemiske metode, da denne er ret enkel at implementere. Anvendelse af UV-belysning er ikke muligt i dette tilfælde pga. farven på vandet, og overslag over anvendelse af Fentons metode viste væsentlig højere driftsomkostninger end den elektrokemiske metode.

Forsøgene med elektrooxidation er udført med en testcelle fra Condias – en stor producent af diamant-coatede elektroder - se forsøgsopstilling i figur 4. Elektroderne er coatede med diamant-støv for at reducere korrosion.



Figur 4 : Opstilling til undersøgelse af effekten af elektrooxidation. Billedet til højre viser hvordan der dannes en stor mængde luft i reaktoren (- primært ilt og brint fra hydrolysen af vand).

En liter prøve cirkuleres forbi elektroderne og der påføres en spænding på ca. 2,5 V over elektroderne hvorefter behandlingen opretholdes i forskellige tidintervaller og undervejs udtages små delprøver til analyse for COD og absorptions. Strømforbruget vil afhænge af ledningsevnen for den aktuelle prøve.

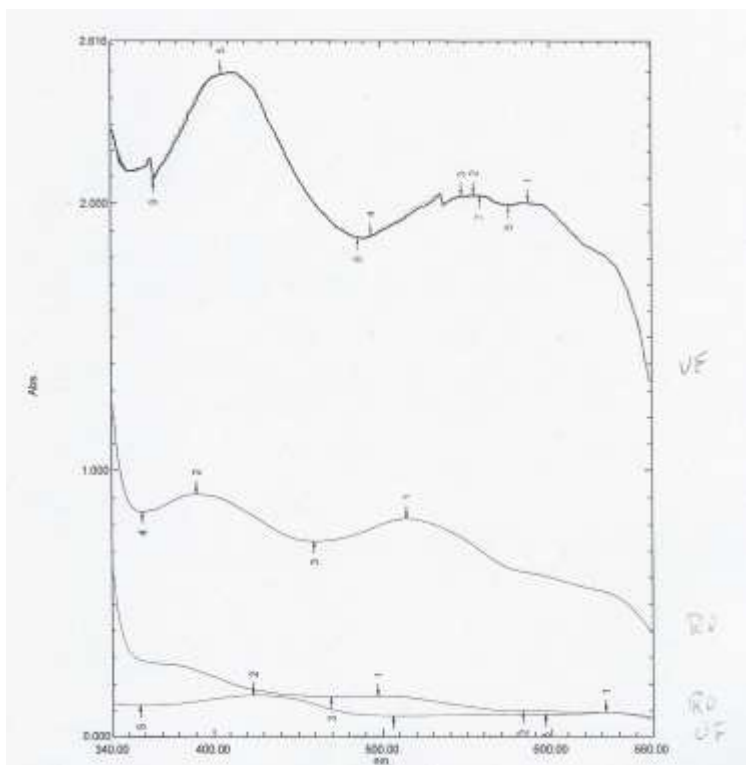


Figur 5: Illustration af effekten af elektrooxidation på en prøve af UF-koncentratet. Helt til højre ses den ubehandlede prøve, som nr. 2 fra højre den oxiderede prøve efter 30 minutters behandling. Nr. 3 fra højre er den oxiderede prøve efter fældning med Kemiras udviklingsprodukt og prøven helt til venstre er koncentrat efter fældning med Kemiras udviklingsprodukt (uden oxidation).

Figur 5 viser resultatet af et forsøg med UF-koncentrat, hvor der også er udført kemisk fældning – desværre med det udviklingsprodukt som Kemira ikke ønsker at producere/markedsføre.

For de fleste tests skulle prøven behandles i mindst 30 minutter før der kunne ses en tydelig effekt på farven.

Figur 6 viser effekten på absorbans for et af de mere vellykkedes forsøg på både UF- og RO koncentrat. UF-koncentratet er behandlet i ca. 60 min., RO-koncentratet i ca. 30 min. Efter denne behandling var der kun meget begrænset farve i prøven. I denne test blev der ikke anvendt recirkulation af prøven, hvorfor der reelt kun er behandlet omkring 250 ml. prøve i reaktoren.



Figur 6: Absorbans-målinger fra behandling af UF- og RO-koncentrat (juni 2012). Øverst UF inden behandling, dernæst RO inden behandling og i bunden de behandlede prøver – RO øverst.

Strømforbruget til at behandle prøverne er ca. 55 W/l*time, svarende til at UF-koncentratet kan behandles for ca. 50 kWh/m³, mens RO-koncentratet kan behandles for ca. 25 kWh/m³.

Disse tal er grundlaget for det økonomiske estimat i afsnit 2.3.8 og 2.3.9.

3. Konklusion

3.1 Overordnet vurdering af det etablerede system

Som nævnt indledningsvis, havde Ege-tæpper grundlæggende tre formål/ambitioner med at etablere membrananlægget:

- 1) Reduktion af forureningsbelastningen i spildevandet
- 2) Genbrug af vand
- 3) Genbrug af fortykker og farvestoffer

Det må nu konstateres, at kun genbruget af vand er realiseret succesfuldt. Genbruget af fortykker og farvestoffer måtte, som tidligere beskrevet, opgives på grund af kemiske forandringer i blandingen, måske på grund af biologisk aktivitet.

Arbejdet med at finde en anvendelig behandling for koncentrerne, som kan reducere belastningen på Gram renseanlæg, har været et centralt i nærværende projekt – og pågår stadig.

3.2 Økonomisk sammenfatning vedr. disponering af koncentrer

Valget af disponeringsløsning for koncentrerne afhænger primært af om der kan etableres en bæredygtig økonomi. I tabel 17 er den skønnede økonomi for de undersøgte alternativer sammenfattet.

Investeringsomkostningerne er vægtet med driftsomkostningerne med 10%.

Tabel 17: Den skønnede økonomi for de undersøgte alternativer

Alternativ:	UF0	UF1	UF2	UF3	UF4	RO0	RO1
Driftsudgifter pr år (DKK)	Udledning til Gram RA (ubehandlet)	Aflevering til rådnetank på RA	Aflevering til forbrænding efter inddampning og tørring	Udledning til Gram RA efter kemisk fældning	Udledning til Gram RA efter kemisk oxidation	Udledning til Gram RA (ubehandlet)	Udledning til Gram RA efter kemisk oxidation
Afledning af spildevand/koncentrat (inkl. særbidrag)	260.200	-	-	175.900	175.600	434.300	299.900
Drift af behandlingsanlæg	-	792.000	674.800	833.300	178.200	-	168.300
Besparelse i vandindkøb	-	-	(178.200)	(195.000)	-	-	-
Samlet	260.200	792.000	496.600	814.200	353.800	434.300	468.200
Behandlingsomkostninger pr m3 koncentrat	-	200,00	125,40	205,60	89,34	-	69,54
Samlede omkostninger pr m3 koncentrat	65,70	207,58	184,74	242,21	139,85	64,51	99,25
Investeringer							
Skønnet total	-	300.000	2.350.000	1.450.000	2.000.000	-	2.000.000
Vægtet med 1/10	-	30.000	235.000	145.000	200.000	-	200.000
Samlede årlige omkostninger	260.200	822.000	731.600	959.200	553.800	434.300	668.200

Som det fremgår, er fortsat udledning til Gram Renseanlæg klart det billigste alternativ. Dette forudsætter dog at Haderslev kommune fortsat accepterer udledningen.

Blandt behandlingsalternativerne er elektrooxidation den billigste løsning, såfremt forudsætningerne holder. I samlede driftsomkostninger er denne løsning ca. 200 tkr. dyrene end udledning af ubehandlet koncentrat, svarende til at driftsøkonomien for det samlede anlæg stadig er under driftsøkonomien inden etablering af membranlægget. Denne løsning kræver dog en markant investering på – skønnet – ca. 4 mio. kr. dvs. af samme størrelse som investeringen i membranlægget.

Økonomien i etablering af et anlæg til elektrooxidation er dog ganske usikker. Denne type anlæg er langt fra 'hyldevarer', faktisk er der tale om en ganske nyudviklet teknologi som kun anvendes relativt få steder.

Afl levering af UF-koncentratet til en rådnetank virkede umiddelbart som en attraktiv løsning pga. meget begrænsede investeringsomkostninger for virksomheden, men viste sig mindre attraktiv, da det i en laboratorie-undersøgelse viste sig vanskeligt at udrådne indholdsstofferne. Løsningen kan dog ikke helt afskrives, men vil kræve yderligere forsøg med langsom adaptation af biomassen.

Inddampning og tørring er naturligvis en relativt dyr driftsøkonomisk løsning såfremt energien til at fordampe vandet skal tilføres som 'ekstra' energi – som det her er forudsat. Kan løsningen i stedet etableres med brug af overskudsenergi fra produktionens tørringsanlæg vil driftsøkonomien naturligvis ændre sig markant, men til gengæld vil det kræve ganske betydelige investeringer – og formodentlig også et betydeligt udviklingsarbejde – at færdigudvikle denne model.

Teknisk har det vist sig at være meget vanskeligt at foretage kemisk fældning på koncentratene. Dette var ellers som udgangspunkt den model virksomheden helst så anvendt, men efter konsultationer hos de fleste danske leverandører af fældningskemikalier – og et par udenlandske – må det konstateres, at denne løsning kun kan realiseres med meget høje dosering af ganske dyre kemikalier.

Anbefalingen må således blive at arbejde videre med elektrooxidation ('våd-ox') – eventuelt i kombination med andre løsninger – eller alternativt inddampning/tørring baseret på overskudsvarmen fra tørreprocesserne.

Litteratur

- 1 **Integrated water treatment in wet textile industry – TEXI**, Naturstyrelsen, 2011.
Forfattere: Henrik Grüttner & Gert Holm Kristensen, DHI. ISBN nr. 978-87-7279-044-2 (TRYK),
978-87-7279-058-9 (WEB)
- 2 **Molekulare und rheologische Eigenschaften von Druckverdickungsmitteln bei der Wiederaufarbeitung**. R.Schneider, Institut für Textilchemie der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung Stuttgart, Körchtalstr.26, 73770 Denkendorf
- 3 **Ege Tæpper A/S – a case study for integrated water treatment**, University of Southern Denmark, Project-report from the course Industrial Water Technology, 2011. Francesco Baldi, Maria Florkiewicz, Ciprian Cimpan and Rune Duban Grandal.
- 4 **Chemical oxidation applications for industrial wastewaters**. IWA Publishing 2010.
Authors: Olcay Tunay, Isik Kabdasli, Idil Arslan-Alaton and Tugba Olmez-Hanci. ISBN:
9781843393078

Bilag

Bilag 1: Forsøg med kemisk fældning

Udført af Peter Vittrup Christensen, oktober 2014

1. Indledning

Følgende notat beskriver laboratorieforsøg foretaget på spildevandsprøver fra Egetæpper. Formålet med forsøgene er at screene en række kommercielle flokkulanter og undersøge hvilken/hvilke af disse der meningsfyldt kan afprøves i større skala. Endvidere er målet at afdække det virksomme doseringsinterval.

2. Metodebeskrivelse

To spildevandsprøver fra Egetæppers produktion (buffertank og koncentrat) blev modtaget mandag den 1/9-14 og flokkuleringsforsøgene er udført tirsdag og onsdag i samme uge.

Følgende flokkulanter er testet:

- C515LF fra Kemira
- Colorsorb C103 fra Bo Jensen Vandbehandling
- Saduren fra BASF
- PASC fra Bollerup-Jensen

Flokkuleringsforsøgene er udført i to trin. Indledningsvist i mindre prøver på 25 mL. Disse er tilsat en kendt mængde flokkulant og omrystet kraftig. Herefter henstår de i et par minutter inden yderligere karakterisering er foretaget. Formålet med disse forsøg er at afsøge et bredt doseringsinterval og opnå indikationer af optimum. Dernæst laves nogle få forsøg i større skala (500-1000 mL) hvor prøverne omrøres kraftigt under doseringen samt 30 s herefter, og dernæst langsomt i yderligere 30 s inden prøven hældes i en målecylander og henstår.

Til karakterisering af flokkulanternes effektivitet på prøverne er anvendt følgende parametre:

- Zetapotentiale
- Turbiditet
- COD
- Slamvolumen

3. Resultater

Karakterisering af spildevandsprøver

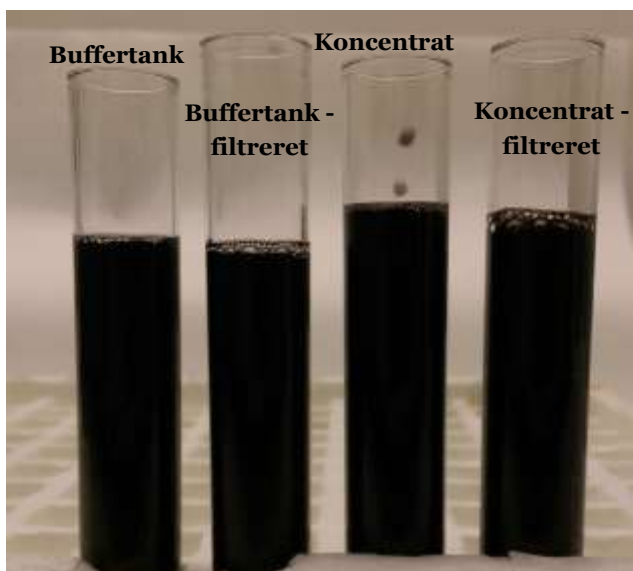
Både buffertank- og koncentratprøven fremstår som dyb sorte i farven og skummer ved omrystning/omrøring.

I Tabel 1 ses en oversigt over karakteristika for prøverne. Begge prøve viser en meget begrænset reduktion i COD efter filtrering gennem et 0.45 µm filter hvilket viser at den væsentligste kilde hertil er opløst/kolloid. Begge prøver har et markant negativt zetapotentiale hvilket indikerer at kolloiderne er ladningsstabiliserede.

Tabel 1 Karakteristika for råprøver

Prøve ID	pH	COD [mg/L]	Zetapotentiale [mV]
Buffertank	4.8	5350	-52.3
Buffertank – filtreret (0.45 µm)		5150	
Koncentrat	6.2	15.200	-45.6
Koncentrat – filtreret (0.45 µm)		14.700	

Figur 1 viser et billede af de to prøver – både som råprøve og som filtreret prøve. Der er ingen visuel forskel på de filtrerede og ufiltrerede prøver.



Figur 1 Billede af råprøve og filtreret prøve fra buffertank og koncentrat

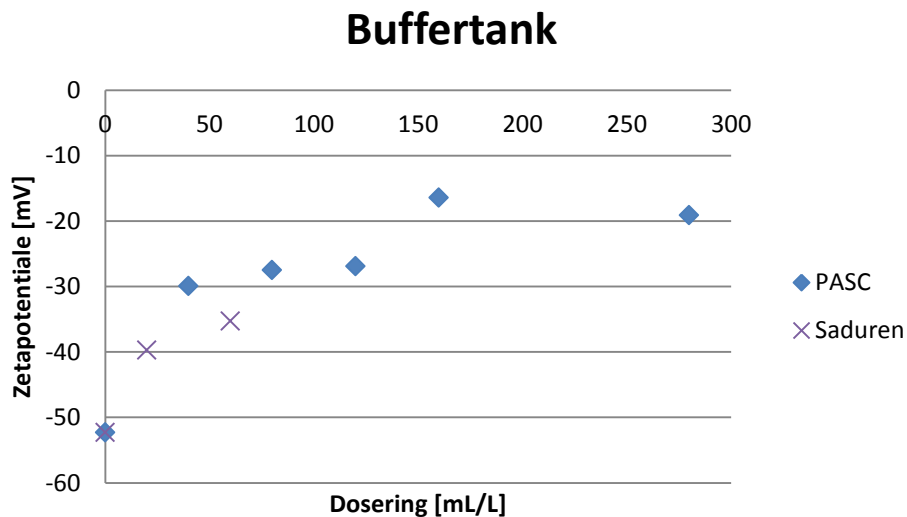
Flokkulering af prøve fra buffertank – 25 mL

PASC fra Bollerup Jensen

Denne flokkulant er polyaluminiumssilikat og er således ikke en polymer så som de andre testede flokkulanter. Der blev anvendt et bredt doseringsinterval (0.25 mL/L – 280 mL/L) og der blev ikke observeret synlige tegn på flokkulering af prøven. Ved doser over 80 mL/L var filtreringsmodstanden svagt forøget indikerende at en form for udfældning kan være sket, men filtraten var stadig dyb sort i farven hvorfor den aggregerede mængde vurderes at være minimal.

I Figur 2 ses zetapotentiale som funktion af doseringen og det fremgår at PASC ikke er i stand til at neutralisere kolloidernes ladning og derigennem destabilisere dem – på trods af den meget høje dose.

Det vurderes således at Bollerup-Jensens PASC er uegnet til behandling af denne type spildevand og yderligere forsøg på koncentratprøven er derfor ikke foretaget.



Figur 2 Zetapotential som funktion af flokkulantdosering for Bollerup-Jensens PASC og BASFs Saduren.

Saduren fra BASF

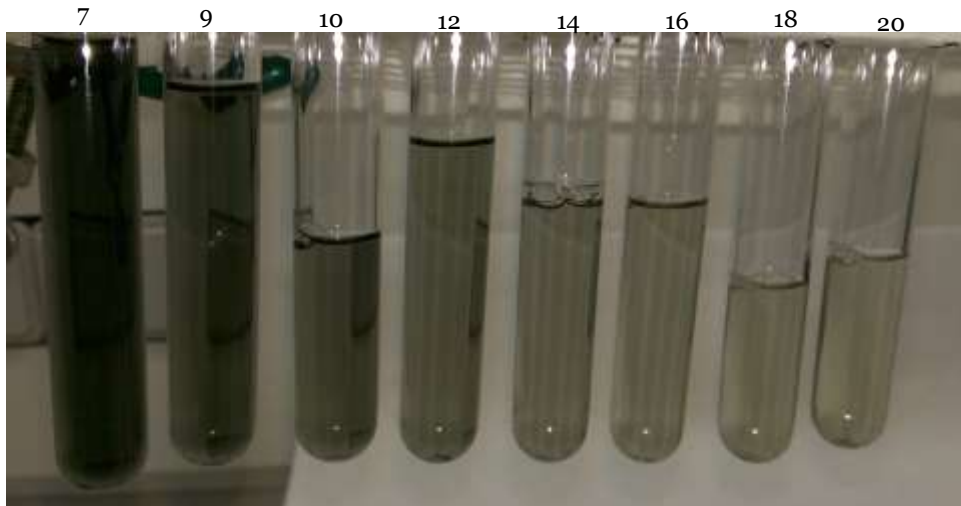
Saduren blev testet i doseringsintervallet 0.25 mL/L til 60 mL/L. Ved doser over 20 mL/L var Saduren i stand til at udfælde en væsentlig del af prøvens farve. Dog var processen langsom og det tog adskillige timer inden egentlige visuelle tegn på udfældningen viste sig.

Måling af zetapotential viste at Saduren kun i ringe grad var i stand til at reducere den kolloide ladning (se Figur 2). Det faktum at der forekom væsentlig udfældning på trods af den manglende ladningsreducing viser imidlertid at Saduren udviser en ikke-ladningbaseret affinitet for prøvens komponenter der gør det i stand til at forårsage en faseadskillelse.

Grundet den langsomme kinetik og den høje dosering er det vurderet at Saduren ikke er den bedst egnede flokkulant til denne type prøve.

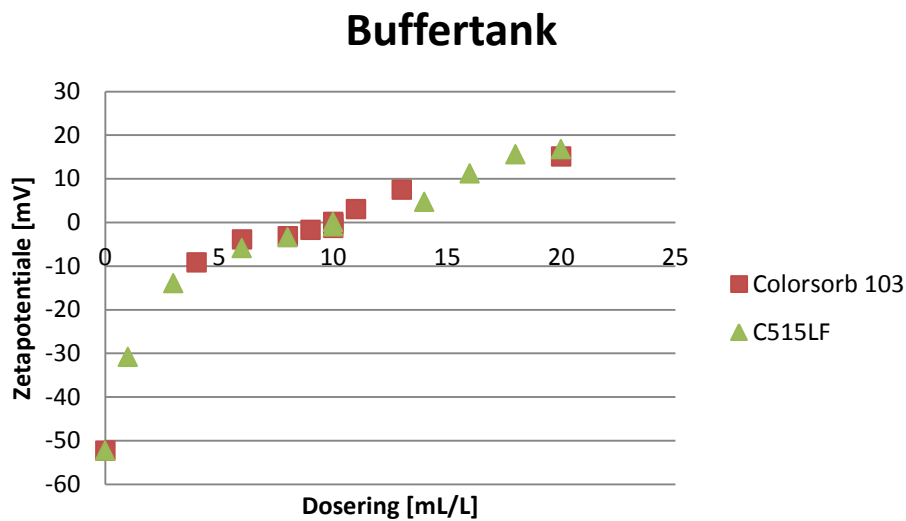
C515LF fra Kemira

C515LF blev testet i doseringsintervallet fra 0.25 mL/L til 20 mL/L. Ved doser over 4 mL/L var der tydelige visuelle tegn på aggregering i løbet af få minutter. De flokkulerede prøver udviste stor filtreringsmodstand som et tegn på en faseadskillelse. Farven af filtratet var markant reduceret (se Figur 3). Visuelt blev den mest effektive farvefjernelse opnået ved en dose på 16-18 mL/L.



Figur 3 Billede af filtrerede buffertank prøver efter behandling med C515LF. Dosering i mL/L ses over billedet.

Tilsætning af C515LF til prøven reducerede effektivt den kolloide ladning og ved høje doser resulterede dette i ladningsinvertering (se Figur 4). Ladningsneutralisering blev opnået ved en dosering på 10 mL/L.

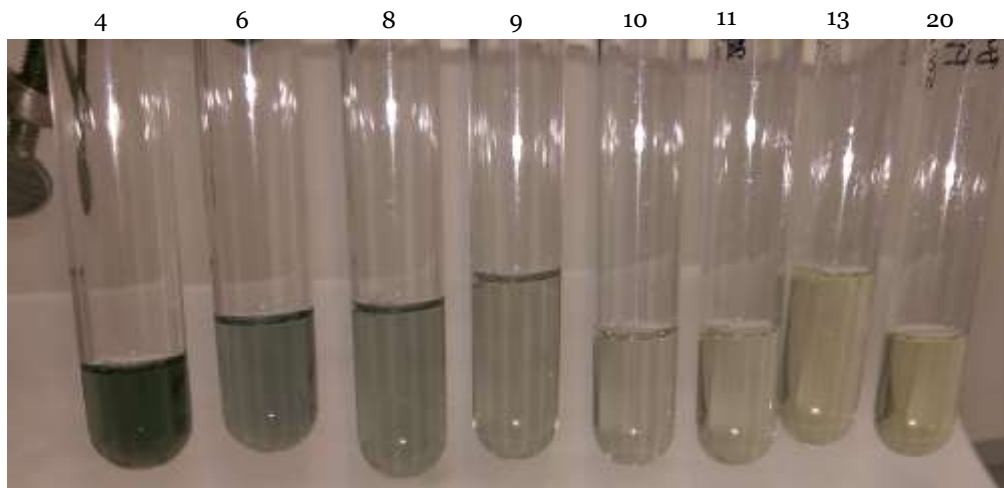


Figur 4 Zetapotential som funktion af flokkulantdosering for Kemiras C515LF og Bo Jensens Colorsorb 103.

Det vurderes således at C515LF er velegnet til anvendelse med denne type spildevand da der kunne opnås en betydelig farvefjernelse indenfor en realistisk tidsramme.

Colorsorb 103 fra Bo Jensen Vandbehandling

Colorsorb 103 blev testet i doseringsintervallet fra 0.25 mL/L til 20 mL/L. Ved en dose på 4 mL/L var der hurtigt visuelle tegn på flokkulering. Det bemærkes at dette var den samme minimumsdose der blev observeret for C515LF. Filtreringsmodstanden blev ligeledes forøget omkring denne dosering. Visualisering af restfarve efter filtrering fremgår af Figur 5. Den mest effektive farvefjernelse blev opnået ved en dosering på 10-11 mL/L. Sammenlignes med C515LF giver Colorsorb 103 en svagt forbedret farvefjernelse.



Figur 5 Billede af filtrerede buffertank prøver efter behandling med Colorsorb 103. Dosering i mL/L ses over billedet.

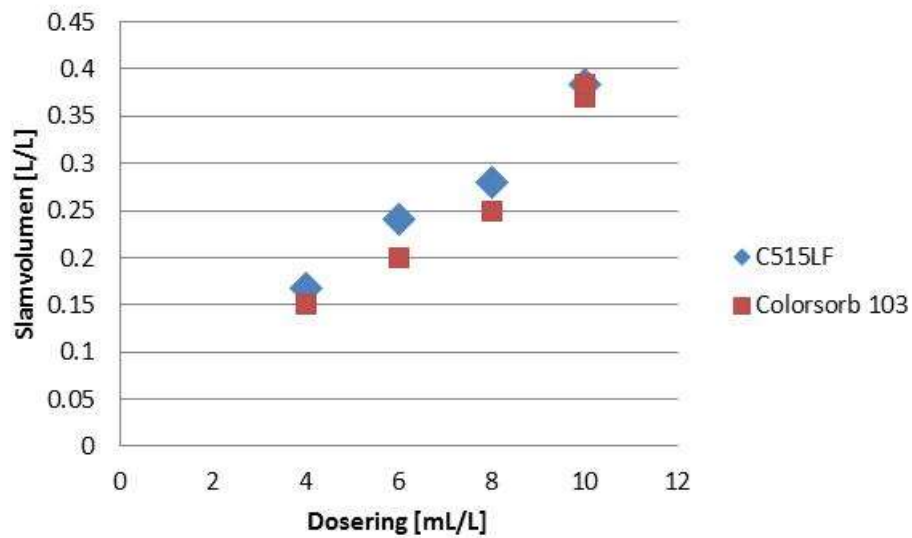
Af Figur 4 fremgår det at Colorsorb 103 ligesom C515LF er en effektiv ladningsneutralisator. Tilsyneladende er effekten på ladning for de to flokkulanter sammenfaldende, hvilket indikerer at deres ladningsdensitet er sammenlignelig.

På baggrund heraf vurderes det at Colorsorb 103 er velegnet til brug på denne type spildevand.

Flokkulering af prøve fra buffertank – 500-1000 mL

De indledende forsøg foretaget i lille skala – som beskrevet ovenfor – påviser at Kemiras C515LF og Bo Jensens Colorsorb 103 er de eneste to flokkulanter der er relevante at arbejde videre med. Disse er derfor afprøvet i lidt større skala og under mere kontrollerede forhold (mixing shear, mixing tid). Der er for begge flokkulant typer anvendt 4 doser: 4, 6, 8 og 10 mL/L.

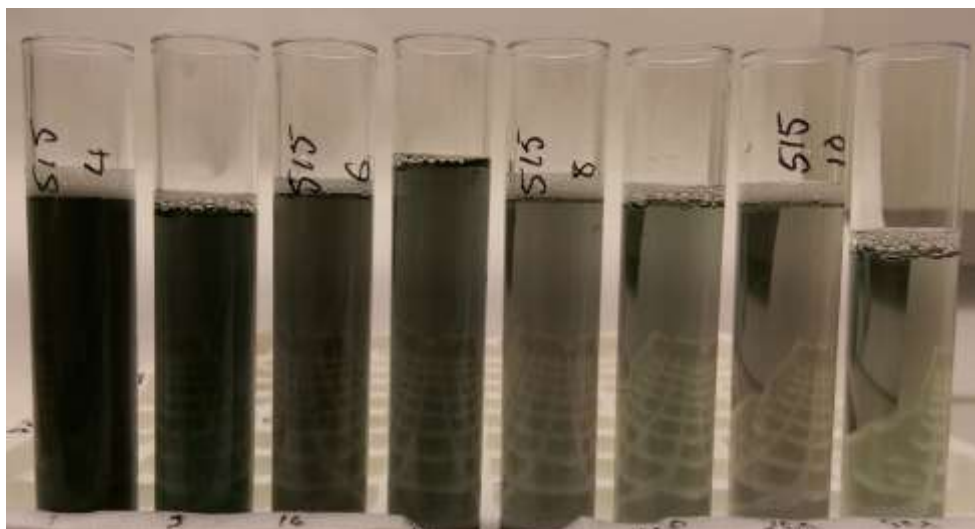
Efter indblanding af flokkulant er prøven hældt på en målecylinder og sedimentationen af aggregaterne er observeret. Det blev konstateret at sedimentationshastigheden var lav idet der efter 2 h var opnået ca. 2 cm sænkning af slamspejlet. Efter 18 h blev det konstateret at ændringen i slamspejlet over tid var meget lille og slamvolumen blev målt (se Figur 6). Det fremgår at det relative slamvolumen forøges med doseringen og er sammenlignelig for de to flokkulanter.



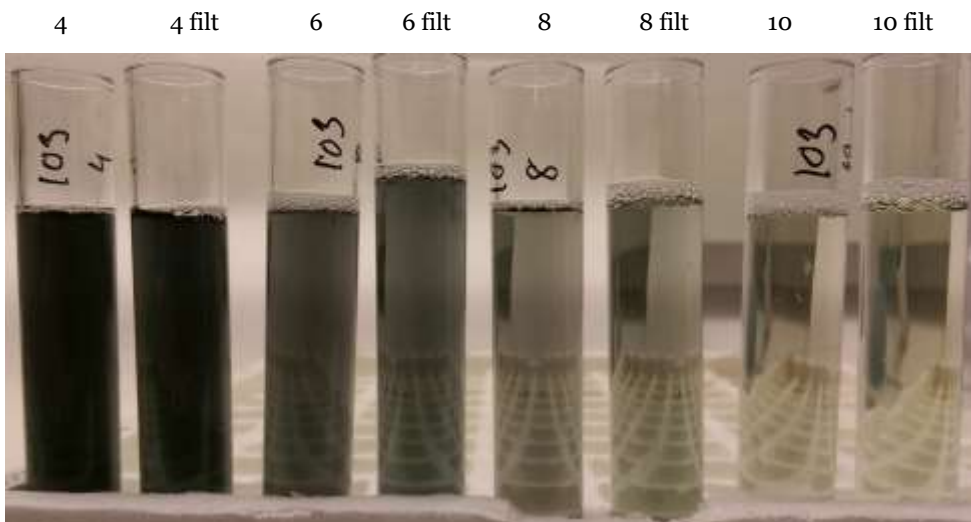
Figur 6 Relativt slamvolumen efter 18 h sedimentation i målecylinder.

Efter 18 h sedimentation er der udtaget prøver af supernatanten og delprøver heraf er yderligere filtreret (0.45 µm). Billeder af disse prøver ses i Figur 7 (C515LF) og Figur 8 (Colorsorb 103).

4 4 filt 6 6 filt 8 8 filt 10 10 filt

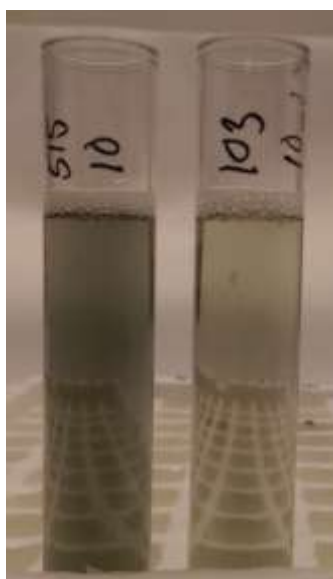


Figur 7 Supernatant (ufiltreret og filtreret) efter 18 h sedimentation. Doseringer af C515LF ses overfor billede i mL/L.



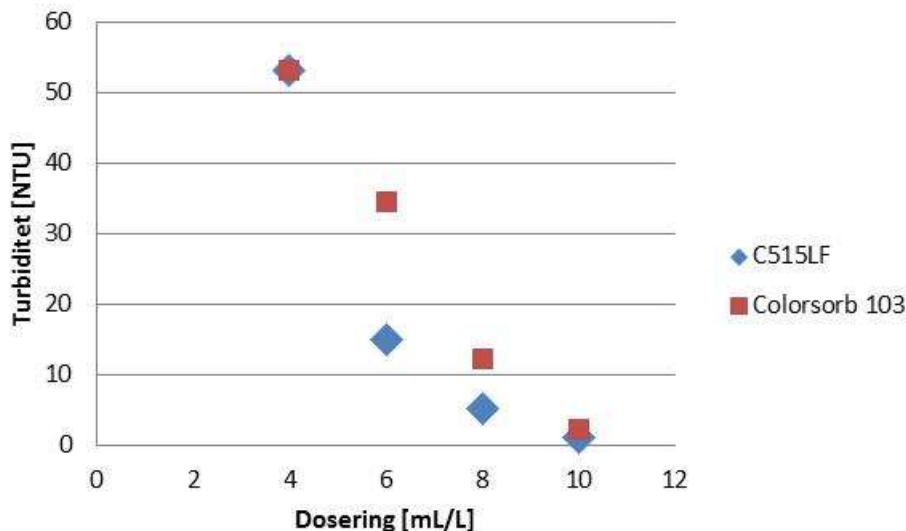
Figur 8 Supernatant (ufiltreret og filtreret) efter 18 h sedimentation. Doseringer af Colorsorb 103 ses overfor billede i mL/L.

Figur 7 og Figur 8 viser en gradvis forbedring af farvefjernelsen fra doser på 4 mL/L til 10 mL/L - gældende for begge flokkulanter. Dog ser farvefjernelsen ud til at være bedst for Colorsorb 103. Dette ses mere tydeligt på Figur 9 hvor de to flokkulanter direkte sammenlignes.

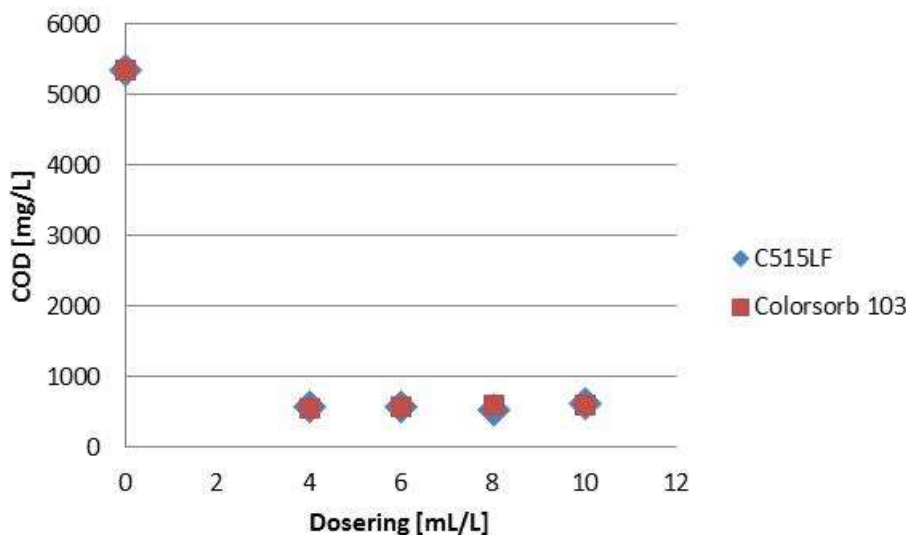


Figur 9 Sammenligning af farvefjernelse ved brug af C515LF (tv) og Colorsob 103 (th). Begge prøver er supernatant med en dose på 10 mL/L

Der er endvidere målt turbiditet (Figur 10) og COD (Figur 11) i supernatantprøverne. Turbiditeten falder kraftigt ved en forøgelse af doseringen fra 4 mL/L til 10 mL/L og på 1.3 og 2.3 for henholdsvis C515LF og Colorsorb 103. Det bemærkes at på trods af det bedre farvefjernelse observeret for Colorsorb 103 er turbiditetsfjernelsen bedst for C515LF. COD i supernatanten reduceres kraftigt ved den laveste doseringen på 4 mL/L men ændres derimod ikke signifikant ved en yderligere forøgelse. Dette gælder for både C515LF og Colorsorb 103.



Figur 10 Supernatant turbiditet som funktion af flokkulantdosering for buffertank prøve flokkuleret med C515LF og Colorsorb 103.



Figur 11 COD i supernatant som funktion af flokkulantdosering for buffertank prøve flokkuleret med C515LF og Colorsorb 103.

Flokkulering af prøve fra buffertank – opsummering

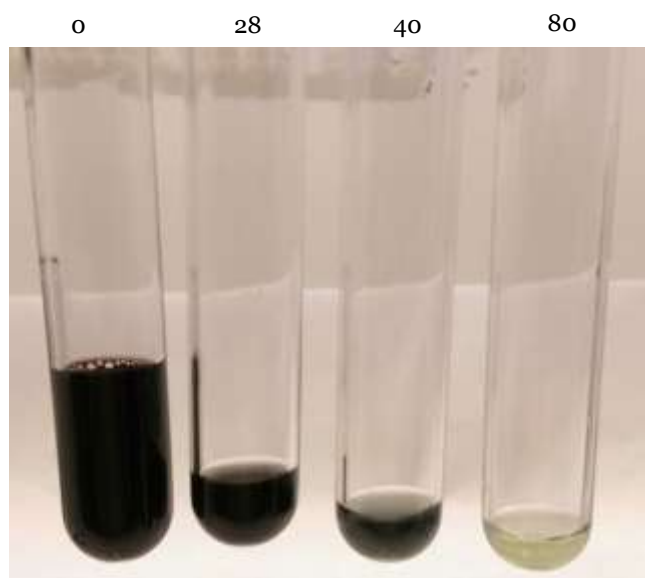
PASC fra Bollerup Jensen og Saduren fra BASF er begge uanvendelige til at flokkulere nærværende prøver. Derimod giver både C515LF fra Kemira og Colorsorb 103 fra Bo Jensen Vandbehandling lovende resultater. Der skal dog anvendes relativt høje doser for at opnå at markant flokkulering. Undersøgelserne antyder at intervallet 4-10 mL/L opnås brugbare resultater. Optimum har med de anvendte testmetoder

vist sig at være ved 10 mL/L men det er ikke sikkert at en fuldstændig flokkulering og ladningsneutralisering giver anledning til det bedste resultat i en UF membranfiltrering. Colorsorb 103 synes at være lidt mere effektiv til at fjerne farve sammenlignet med C515LF og i så fald der kun ønskes at forsætte med en enkelt flokkulant anbefales denne. Den observerede forskel mellem de to er dog så begrænset at en test af begge flokkulanter i større skala kan retfærdiggøres.

Det er observeret at der under indblanding af flokkulant ved omrystning bliver inkorporeret små luftbobler i de dannede flokke hvilket resulterer i at en væsentlig del af flokkene flyder ovenpå fremfor at synke. Dette antyder muligheden for at anvende flotation som en forbehandling inden UF filteret for at nedbringe belastningen herpå.

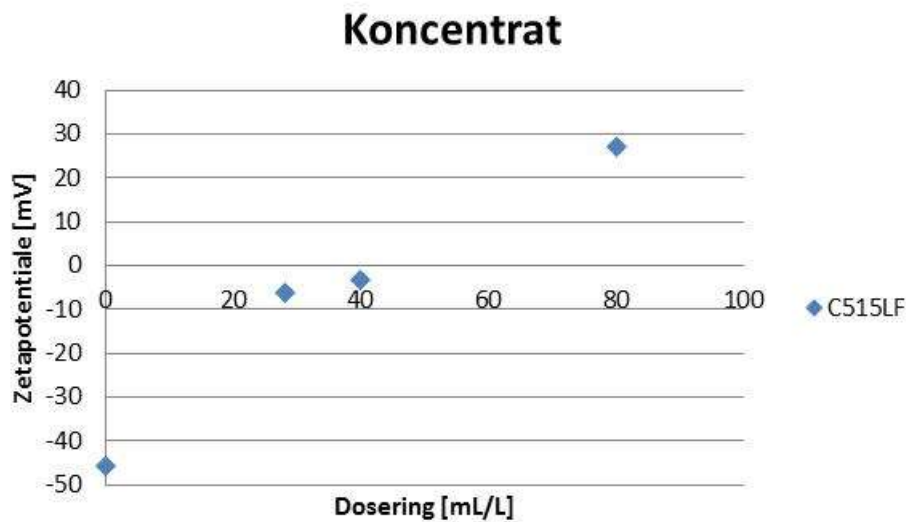
Flokkulering af koncentratprøve – 25 mL

Koncentratprøverne er udelukkende testet med C515LF og kun i lille skala. Der er anvendt doser fra 4-80 mL/L. Det var ikke muligt visuelt at observere flokkulering for nogen af de anvendte doser, men dette skyldes sandsynligvis den meget høje koncentration af farve i prøverne. Filtrering af prøverne efter dosering af flokkulant viste dels en farvefjernelse i filtratet og dels en forøget filtreringsmodstand. Disse effekter blev begge mere udtalte med øget dosering. I Figur 12 ses billede af filtratet ved fire doseringer. Det bemærkes at filtratprøven for doseringen på 80 mL/L på trods af den effektive farvefjernelse stadig er meget viskøs. Et bidrag hertil kan være overskudsflokkulant grundet den høje dosering.



Figur 12 Billede af filtrerede koncentrat prøver efter behandling med C515LF. Dosering i mL/L ses over billedet.

Figur 13 viser ændringen af zetapotentialet ved øget dosering af flokkulant. Der observeres en ladningsinvertering fra negative potentialer ved doser <40 mL/L til positive potentialer for doser >40 mL/L. Det er tilsvarende buffertanksprøven – dog er den nødvendige dose for at opnå ladningsneutralisering ca. 4 gange højere for koncentratprøven.



Figur 13 Zetapotential som funktion af flokkulantdosering for Kemiras C515LF.

Der kan således påvises en effekt af flokkulanten på koncentratet idet filtratsammensætningen ændres og ladningsneutralisering finder sted. Der er dog ikke observeret synlige tegn på sedimentation i den flokkulerede prøve. Dette kan muligvis skyldes at koncentrationen af flokke er for høj til at en egentlig bundfældning kan finde sted eller at den høje farvekoncentration umuliggør en visualisering af flokkene i prøven.

Det vurderes at lignende effekter vil kunne opnås med Colorsorb 103 idet resultaterne fra buffertankprøven viste at C515LF og Colorsorb 103 havde sammenlignelig effekt.

Demonstrationsprojekt vedrørende implementering af integreret vandrensning i våd tekstilindustri (TEXI2)

Demonstrationsprojekt vedrørende implementering af integreret vandrensning i våd tekstilindustri (TEXI2)

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet "Demonstrationsprojekt vedrørende implementering af integreret vandrensning i våd tekstilindustri (TEXI2)", der er gennemført med tilskud fra Miljøministeriet 2011.

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
DK - 2100 København Ø
Tlf.: (+45) 72 54 30 00

www.nst.dk