

# Waste Heat Utilization in Fish Industry (WHUFI)

Heating/cooking of raw material in fishmeal and fish oil production



2019

Jacob Rasmussen, TripleNine Denmark  
Robert Stammer, Ørsted

## 1.1 Project details:

# Waste Heat Utilization in Fish Industry (WHUFI)

**EUDP 64016-0085**

Projektdeltagere: Jacob Rasmussen, (Energi- og Miljøchef - projektansvarlig) TripleNine Denmark  
Karsten Aagaard, (Project Engineer) TripleNine Denmark  
Per Andersen, (Project Engineer) TripleNine Denmark  
Robert Stammer, (Lead energirådgiver) Ørsted  
Henrik Schönfeldt, (Global Technology Director) SiccaDania  
Steen Simonsen, (Director Starch technology) SiccaDania

DHI havde projektledelsen indtil de lukkede Deres industriafdeling 30.06.2017

De opgaver DHI havde i projektet blev fordelt mellem Ørsted, SiccaDania og TripleNine Denmark.

**TripleNine Denmark**  
**Trafikhavnskaj 9**  
**6700 Esbjerg**

**CVR: 35252967**

Indholdsfortegnelse:

**1.1 Project details**

**1.2 Short description of project objective and results**

**1.3 Executive summary**

**1.4 Project objectives**

**1.5 Project results and dissemination of results**

**1.6 Utilization of project results**

**1.7 Project conclusion and perspective**

## 1.2 Resume English

The project has concluded that spiral-heat-exchangers are the most suitable type of heat exchanger to heat up / cook industrial fish. Due to lack of data for dimensioning the size of the heat surface of the spiral-heat-exchanger, it was necessary to perform a small-scale test on a spiral heat exchanger to collect missing data.

Data from the small-scale test was used to sizing heat surface on the two pilot spiral heat exchangers. Test were performed periodically over one year to make sure, that the spiral heat exchanger can handle all types of fish species.

The stability of the pilot plant itself went satisfactorily. But, there were situations in which bone fractions from the fish were precipitated. If the mixture of raw material and stickwater became too dry, it was seen that pressure in the inlet would increase a lot. Clogging in inlet also happened a few times. It is possible to change and optimize design to prevent the few challenges there are on stability.

The quality of the cooked mass did not quite live up to expectations. There are issues about oil quality. FFA seems to increase and the longer residence time might damage the oil. Some issues might be generated in the long feeding-pipe where the raw material is mixed with stickwater. The temperature in the area of 30-40 degrees C is optimal for unwanted enzymes which damaged the product.

During the tests, there were periods with high fat content in the fishmeal. High fat content in fishmeal can be related to the cooking process.

It is necessary to improve the hygiene in the set up as well. The selected exchanger type and the installation meant that it was not possible to drain all water from the spiral heat exchanger when shutting down. Generally, the test provided a stable process with the possibility of using waste heat to heat up / cook the fish. Maybe it would be possible to make a few changes with the design to prevent periodic pressure rise in the spiral heat exchangers and to improve the hygiene.

The tests did not meet our expectations on quality parameters. FFA in the oil seems to increase while producing on the test unit and the level of cadaverin in the fish meal seems to be very unstable.

## Resume Danish

Projektet har udpeget spiralvarmevekslere som den mest egnede veksler til opvarmning / kogning af industrifisk. Grundet datamangel til dimensionering af hedepladen i spiralvarmeveksleren, opstod der et behov for at gennemføre en præ-test i mindre skala til indsamling af nødvendig data.

De supplerende data fra præ-testen blev anvendt til dimensionering af 2 spiralvarmevekslere, der blev indsat på virksomhedens fabrik 3.

Testene blev gennemført som en årstest, hvor de forskellige råvarearter blev kørt på vekslerne.

Selve driftens stabilitet forløb tilfredsstillende. Der er tilfælde, hvor der udfældes tunge dele fra fisken, samt hvis råvareblandingen er for tør, hvor der kan opbygges et stort modtryk hen over veksleren. Periodisk var der ligeledes tilstopning af indløbet til vekslerne.

Der er et behov for at undersøge om ændringer i design kan trimmes lidt, for at forebygge de omtalte udfordringer.

Kvaliteten på den kogte masse levede ikke helt op til forventningerne. Der er tvivl om olie kvalitet. Olien kan blive skadet af en længere opholdstid. Der er under testene også set perioder med forhøjede niveauer af fedt i fiskemelet. Forhøjet fedt i fiskemelet, kan relateres til forkert kogning. Det er også nødvendigt at forbedre hygiejnen i opstillingen. Den valgte veksler type og opstilling betød, at der i veksleren kan komme til at stå væske, som ikke er muligt at dræne væk.

Generelt leverede testen en stabil proces med mulighed for at afsætte spildvarme. Der skal arbejdes lidt på designet for at forebygge periodisk høje modtryk og for at forbedre hygiejnen.

Testen levede ikke op til de forventninger, der var i forhold til kvaliteten. FFA i olien syntes at stige ved drift på pilotanlægget og cadaverin niveauet svinger meget i fiskemelet.

### 1.3 Resumé

Projektets formål er at udvikle og demonstrere et nyt, praktisk og anvendeligt koncept til opvarmning af industrifisk, kendetegnet ved, at:

- Muliggøre udnyttelse af spildvarme med lav til mellemhøj temperatur fra andre processtrin
- Minimal eller næsten ingen påbrænding af proteiner på hedefladerne
- Hurtig opvarmning af råvaren
- Råvaren skal kunne gennemgå opvarmningsprocessen grovhakket
- Sikre styring og regulering af flow og temperatur er stabil og præcis uden store over- og under-sving i forhold til set-punkter

Testen viste generelt stabilitet i processen med nogle få undtagelser. Der viste sig at tunge partikler bundfælder inde i veksleren. Kogningen med lav temperatur kan forårsage både positive og negative egenskaber på produktet. Hvorvidt den udvalgte veksler egner sig til at varme denaturere ved produktion af fiskeolie og fiskemel skal undersøges nærmere før der kan træffes en endelig beslutning.

### 1.4 Project objectives

#### WP 1 litteratursøgning

I denne arbejdsopgave søges litteratur omkring eksisterende varmevekslertyper, både til flydende og granulære medier. Der søges specifikt efter eksempler på anvendelser til lignende formål, dvs. uhomogene produkter, der opvarmes i en kontinuerlig strøm gennem en varmeveksler.

Efter litteraturgennemgang af forskellige varmevekslere, faldt valget på en veksler, med et kontinuerligt produkt-flow på primærside samt med lav delta t mellem primær og sekundær side.

Valget af vekslerstype var en spiralvarmeveksler.

Spiralveksleren muliggør afsættelse af overskudsvarmen fra de perifere processer, også energistrømme med relativ lav medietemperatur.

#### WP 2 Beregninger

Den nuværende kogning/opvarmning foretages typisk i store skruekogere. Fiskene er hele ved indløb til processen. Produktet er med andre ord ikke en flydende væske. Fisken opvarmes vha. indirekte varme fra damp ved 5,6 bar. Dampen tilføres kappen og rotor på kogerens. Over tid vil der gennem processen opbygges et påbrændt lag af proteiner, som nedsætter varmeovergangen. Herved kan den normale kogeprocessen ikke opvarme produktet til den ønskede temperatur, så der tilsættes direkte damp i kogeprocessen svarende til 20 % af det samlede varmeforbrug / dampforbrug til kogning af råvaren.





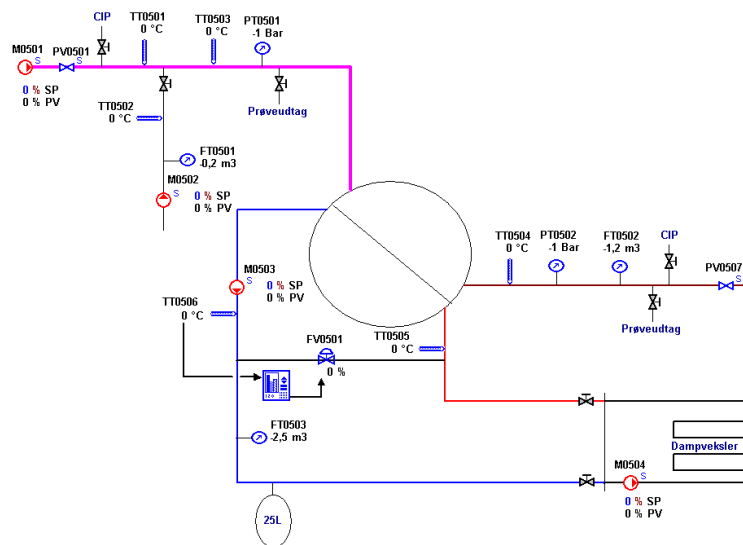
Eksisterende koger

**Dimensionering af spiralvarmevekslerne:**

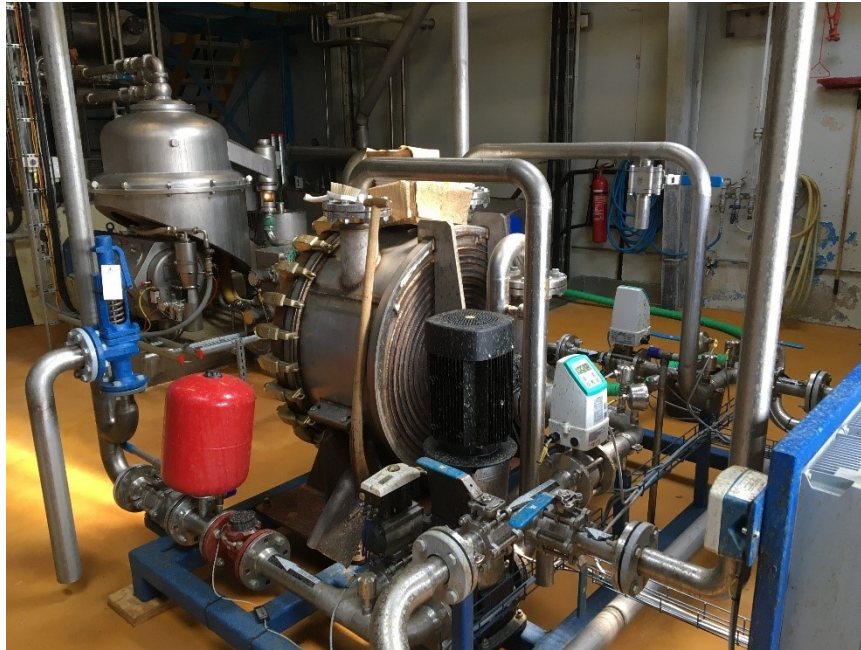
Der blev foretaget flere beregninger for dimensionering af den nye veksler type. Det viste sig, at der var store forskelle i hvor stor hedeblader, der skulle anvendes. SiccaDania og DHI lå meget langt fra hinanden. TripleNine og SiccaDania så sig derfor nødsaget til at gennemføre en præ-test, for at sikre sig gode data til dimensioneringen.

Præ-testens udstyr bestod af en mindre spiralveksler sammenbygget med måleudstyr til indsamling af data. Data blev senere anvendt til dimensionering af pilot-anlægget.

PI diagram for præ-test. (CTS-billede)



Præ-test udstyr

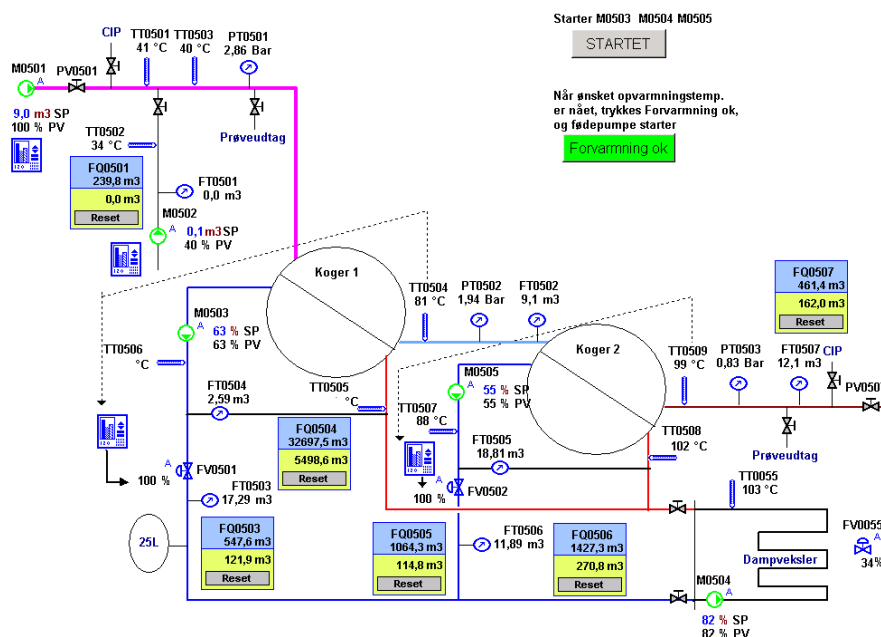


Efter gennemførelse af præ-testen blev de indsamlede data sendt til en vekslerleverandør som udlagde spiralvarmevekslerne i samarbejde med SiccaDania.

Pilotanlægget kunne nu opbygges med opvarmning i 2 step.

1. trin er/var tiltænkt udnyttelse af overskudsvarme i det lavere temperaturområde, mens 2. trin er tiltænkt udnyttelse af spildvarme med de mellemhøje temperaturer.

*Pi-diagram. Pilot opstilling (CTS-billede)*



*Spiralvarmeveksler*





Driftsdata fra de 2 trin blev sikret, ved at der på varmesiden (sekundær) blev installeret 2 ens varmeshunts. Hver varmeshunt blev udstyret med reguleringsventil, temperaturmåling ind/ud, tryk og flow. De 2 varmeshunts muliggjorde regulering af såvel flow og indstilling af temperatur til simuleringer af spildvarmestrømme.

På produksiden (primær) blev der installeret en flowmåling, mellem de 2 veksler samt på afgangside af veksler nr. 2. Der blev installeret temperaturmålinger før, mellem og efter varmeprocesser.

For at beskytte systemet mod for høje tryk, blev der installeret trykmåling.

Ved at dosere limvand er det muligt at ændre på viskositeten og dermed også trykfaldet over spiralvekslerne. Limvandet iblandes råvaren før indløb på 1. koetrin.



### **WP 3 opstilling og test af pilotanlæg**

Forsøgsopstillingen er opbygget som vist tidligere (CTS-billede), fuldt automatiseret og integreret parallelt i eksisterende proceslinjer.

Opstillingen består af :

1. Neddeling af råvare i en ny-indkøbt hakker
2. Doseringssystem til iblanding af limvand
3. Spiralveksler 1
4. Spiralveksler 2
5. Fælles varmekilde i form af varmt kondensat til simulering af spildvarmekilde
6. Shunts på begge spiraler til regulering af tilført energi

#### **WP 4 indkøring og første testkørsel**

Forsøgsopstillingen blev afprøvet ved flere lejligheder i løbet af 2018 og 2019, under mere eller mindre kontrollerede forhold, for at undersøge den generelle funktionalitet af systemet.

1. I næsten alle tilfælde blev det observeret, at systemet kørte stabilt. Det blev bemærket, at efter justering af blandingsforhold mellem limvand og råvare, forsvandt svingningerne - både på råvareflow og på fødnings af den kogte masse til dekantering.
2. Det blev bemærket, at trykfaldet over specielt koger 1 blev stabilt ved en blanding mellem hakket fisk og limvand til en temperatur på over 30 °C. Ved lavere temperaturer blev der observeret svingende modtryk og dermed svingninger i flowet.
3. Det blev konstateret, at rørføring fra spiralvekslerne til den åbne holdetank var årsag til et stort varmetab. Varmetabet forårsagede et behov for at tilføre fiskemassen en højere temperatur for at kompensere for varmetabet. Det resulterede i en uønsket høj afgangstemperatur fra koger 2.

#### **WP 5 dekantering af olien**

Der var ved projektansøgning et ønske om at teste separering af olien ved en lavere temperatur mellem de 2 varmetrin. Tanken var at indsætte en 2 eller 3-faset dekanter efter kogetrin 1, som skulle fraskille olien ved en lav kogetemperatur og lade tørstof og vand fortsætte til koger nr. 2.

Dette forsøg blev dog forsøgt gennemført i et andet regi intern hos TripleNine. Forsøget viste, at dette ikke var muligt. Således gav det ikke mening, at gennemføre dette forsøg i dette projekt.

## WP 6 årstidstest

Da råvaren varierer meget hen over året, afhængigt af art og sæson, har det været nødvendigt at udføre en årstidstest. Årstidstesten er udført for at sikre at alle typer råvarer, uafhængigt af sæson – kan håndteres i varmevekslerne.

De første test blev gennemført i september 2018, hvor SiccaDania deltog. Flow på vekslerne - blev efter flytning af pumperør og andet – meget stabilt. Kapaciteten på vekslerne var fin og det var muligt at presse ydelsen uden det medførte påbrændinger.

Testen blev gennemført med en temperatur under 105 grader i varmekredsen. Desværre oplevede vi nogle store temperaturfald fra kogerne til holdetank foran den 3-fasede dekanter. For at kompensere temperaturtabet, var det nødvendigt at øge kogetemperaturen på det sidste trin. Det var naturligvis ikke optimalt, men den forhøjede temperatur viste heller ikke tegn på begyndende påbrændinger.

I november 2018 blev fabriksafsnittet taget ud til ombygning. Der blev installeret en ny holdetank tættere på forsøgsopstillingen og rør blev isoleret. Nedfald fra råvaretank til råvarepumpe blev ændret, og der blev fundet en anden type råvarepumpe frem. Disse tiltag reducerede en stor del af de gener, der drillede i de første måneder.

Testanlægget startes igen op i februar og her oplever vi, at øresten i råvaren udfælder i vekslerne og forårsager påbegyndende opblokning inde i vekslerne. Det samme mønster ses i marts.

## Report title

01-06-2018 - 01-08-2019

	Driftstimer
jun-18	0
jul-18	0
aug-18	0
sep-18	109
okt-18	97
nov-18	42
dec-18	0
jan-19	0
feb-19	37
mar-19	268
apr-19	225
maj-19	310
jun-19	0

Timer til test 1.088

01.06.2018 - 01.08.2019

### Øresten fra skylning af spiralvarmeveksler

Generelt præsterer anlægget udmærket. Der er dog udfordringer med udfældning af øresten. Samtidigt afslører opstillingen, at væsketilsætningen er meget vigtig. Bliver blandingsforholdet mellem fisk og limvand for tørt, medfører det et højt modtryk på vekslerne. Bliver blandingen for vandig, vil de tunge partikler udfælde, da der ikke er nok opdrift i massen til at bære det igennem spiralveksleren.

Fra tid til anden var der udfordringer med tilstopning af tilgangskammer på spiralvarmeveksleren. Store benstykker kunne sætte sig på tværs og lukke for spalten på tilgang ind i spiralvarmeveksleren.



## WP 7 dokumentation og formidling

Under årstidstesten blev der indsamlet driftserfaring, energidata og produktdata.

Da der er tale om test gennemført over året af forskellige fiskearter med forskelligt indhold af olie og tørstof, er det en gennemsnitlig konklusion at:

1. Alle forsøg blev gennemført med en blandingstemperatur af hakket fisk og limvand på 35 – 37 °C
2. Trykfaldet over de to kogere var konstant omkring 0,5 bar, ligesom afstrømning fra kogesystem var konstant, uden de store svingninger – alt i alt stabil drift.
3. Spaltehøjden af kogerne på produktsiden er valgt efter neddelings størrelse i råvarehakkere for at tillade passage af fiskestykker. Det lave trykfald og den jævne drift indikerer, at spaltehøjden muligvis kan gøres mindre.

## Energiforbruget

Varmesystem til de to kogere er som nævnt opbygget med en fælles varmekilde, hvor temperatur og flow til hvert kogetrin kan indstilles efter ønske. Vandmængde og indgangs temperatur til de enkelte kogere kan ligeledes sættes uafhængigt af hinanden via shunt koblinger.

Systemet var tænkt som en mulighed for at simulere spildvarmekilder med forskellige temperaturer. Forsøgene viser, at den optimale termiske virkningsgrad af kogesystemet opnås når kondensatafgangen fra koger 2 seriekobles med kondensattilgangen på 1 eller med andre ord, når de to kogere seriekobles, som var de én enhed.

## Energiomsætning

		ENERGI OMSÆTNING											
Test													
	Blandingstemperatur	m3/h	4,00	4,10	5,30	5,40	4,50	6,40	6,20	6,00	6,70	7,31	
		deg C	34,0	33,0	37,0	34,0	38,0	41,0	40,0	40,0	34,0	34,0	
	Udad koger 1	deg C	72,0	50,0	69,0	60,0	50,0	68,0	61,0	51,0	73,0	60,0	
	udad koger 2	deg C	96,0	92,0	92,0	94,0	98,0	95,0	92,0	94,0	93,0	94,0	
<b>Koger 1</b>													
	Produkt hastighed	m/s	0,11	0,11	0,15	0,15	0,13	0,18	0,17	0,17	0,19	0,20	
	Holde tid	min	10,50	10,24	7,92	7,78	9,33	6,56	6,77	7,00	6,27	5,75	
	Varmeovergang	kW	142,2	65,3	157,9	131,3	50,2	159,9	120,7	61,2	244,3	177,7	
	Heat recover	%	65,2	74,2	68,7	73,1	78,8	72,1	77,8	77,8	64,6	72,5	
	LMDT	deg C	25,42	10,72	25,53	19,38	12,74	24,53	15,99	19,61	24,47	18,97	
<b>Koger 2</b>													
	Produkt hastighed	m/s	0,11	0,11	0,15	0,15	0,13	0,18	0,17	0,17	0,19	0,20	
	Holde tid	min	10,50	10,24	7,92	7,78	9,33	6,56	6,77	7,00	6,27	5,75	
	Varmeovergang	kW	94,1	168,7	119,5	179,9	211,9	169,7	188,6	253,2	131,3	243,5	
	Heat recover	%	92,3	85,7	74,2	85,0	98,0	81,8	75,6	84,3	83,3	85,0	
	LMDT	deg C	8,34	18,63	14,92	15,53	10,57	12,98	18,56	19,57	9,94	15,53	

Samlet opvarmes produktet fra omkring 35 °C til 95 °C. Ved valg af temperatur mellem koger 1 og 2 forskydes opvarmningen mellem de to kogere. Ved test – se ovenstående tabel - ses det at:

- a. Termisk virkningsgrad maximeres og logaritmisk temperaturdifference minimeres for det samlede system, når opvarmningen fordeles ligeligt på koger 1 og 2
- b. Dette kunne tolkes som kogning/opvarmning foregår nogenlunde ens uafhængigt af temperaturen.



## Delkonklusion

Hvis de to kogere serieforbindes, bliver system-performance som vist i nedenstående tabel beregnet på basis af de gennemførte forsøg

Koger 1 serie koblet med koger 2		Omregnet performance fra forsøg			
<b>Produkt side</b>					
	Flow rate	kg/h	5000	6000	7000
	Temperaure ind	deg C	34,0	34,0	34,0
	Temperature ud	deg C	95,0	95,0	95,0
<b>Kondensat side</b>					
<b>Varme orvergang</b>					
	Enthalpy Exchange	kW	284,8	341,7	398,7
	Heat recover	%	85,9	85,9	85,9
	LMDT	deg C	14,28	17,14	19,92

Kapaciteten af systemet afhænger således af, hvilken temperaturdifference mellem produkt og kondensat der kan accepteres. 6 – 7 m<sup>3</sup>/h produkt konkluderes på basis af de udførte forsøg.

## 1.5 Project results and dissemination of results

Projektet havde til formål at udvikle en ny kogeprocess baseret på spildvarme. I ansøgninger blev følgende punkter sat op:

- *Anvendelse af spildvarme fra andre procestrin med en begrænset (over)temperatur.*

Det har vist sig at være muligt at udnytte spildvarme / lavtemperaturvarme til opvarmning af råvaren

- *Minimal eller næsten ingen påbrænding af proteiner på varmefladerne*

Under testperioden blev der løbende holdt øje med en evt. trykstigning eller temperaturfald på produktet, som kunne indikere en startende påbrænding. Der er ikke nogen tidspunkter, hvor der blev konstateret påbrændinger. Efter hver testperiode blev testopstillingen blot skyllet igennem inden den blev stoppet ned.

- *Fisken bringes hurtigt fra nedkølet stand til fuldt opvarmet stand.*

I forhold til de traditionelle kogere viste det sig at være tilfældet. Opholdstiden inde i veksleren blev væsentlig reduceret, dog med den ekstra udfordring, at man skal overvåge opholdstiden i holdetanken for at dræbe bakterier.

- *Fisken kan gennemgå opvarmningsprocessen i (næsten) hel stand. Fisken skal dog neddeles i hakker/massør inden opvarmningen påbegyndes*

Til forbehandlingen af fisken blev der indkøbt tilpasset hakker. Hakkeren havde til formål af neddele fisken til en passende størrelse i forhold til spaltehøjden på spiralvarmevekslerne.

- *At kunne være i stand til at kontrollere opvarmningsforløbet af fisken i kogeprocessen, således at fisken udsættes for færre termiske og mekaniske påvirkninger og deraf, at kunne øge kvaliteten på produkterne.*

Det har vist sig at være muligt at kontrollere varmekforløbet i hele processen. Den eneste mekaniske påvirkning af fisken er hakkeren. Herefter vil fisken blive presset igennem kogeprocessen. Ved testen i marts blev der lavet et prøvetagningsprogram, hvor kvaliteten blev analyseret. Det har ikke været muligt at eftervise en forbedret kvalitet. Det skønnes, at der skal foretages yderligere test / undersøgelser for evt. at kunne eftervise dette.

- *En del af forsøget vil undersøge muligheden for at tage olien ud imellem de to spiralkogere, hvilket bevirker, at denne del af produktet ikke skal gennemgå de efterfølgende processer. Herved opnås yderligere en energibesparelse.*

Denne del af testen blev gennemført i forbindelse med andre tests på virksomheden. Det er derfor ej gennemført i EUDP-projektet.

## 1.6 Utilization of project results

Resultater fra projektet anvendes til at vurdere, hvorvidt det kan tænkes at varmedenaturere fisk og af-skær i en kogeprocess, hvor råvaren koges med lavtemperatur varmekilder. Projektets resultater er værdifulde og de generede data anvendes til at beslutte, hvorvidt projektgruppen skal ansøge videre for gennemførelse af et fyrtårnsprojekt.

## 1.7 Project conclusion and perspective

Projektet var et for-projekt til et muligt fyrtårnsprojekt. Den største bekymring ved opstart af dette projekt var, hvorvidt systemet ville være stabilt i forhold til opblokkinger o.a.

Når der vurderes på stabiliteten ved at anvende spiralvarmevekslere, så har de kørt tilfredsstillende. Der er nogle periodevise udfordringer med udfældning af tungere partikler i spiralveksleren, systemet er følsomt, hvis ikke der tilføres limvand til justering af viskositet, neddelingen var fin i forhold til den valgte spaltehøjde, men det kunne blive en økonomisk gevinst hvis spaltehøjden kunne sænkes for at opnå større hedeblader i hver veksler. Vekslerne kunne ej tømmes for væske, hvilket betød, at der stod gammelt vand inde i vekslerne ved opstart. Det er punkter som sandsynligvis kan afhjælpes/løses.

I forhold til kvaliteten, så er trenden, at de fri fedtsyrer i olien (FFA) stiger ved kogning i spiralvarmevekslerne. Anisidintal er fine. Peroxidtallet varierer meget, og det bør undersøges, om det er tilfældet under normal produktion. Olie delen bør derfor undersøges nærmere.

På melsiden er der set et lavt histaminniveau. Cadaverintallet varierer meget og er i perioder oppe nær grænse for kundekrav. Det kan kædes sammen med et langt råvareforløb, hvor råvaren er iblandet limvand til en temperatur på 30-40 °C. Det er en gunstig temperatur for de uønskede enzymer. Dertil skiftende opholdstider og testkørsler med lave temperatur-set-punkter ud af 1. opvarmningstrin. Samlet set bør det være muligt at nedbringe cadaverin niveauet ved at forkorte opholdstiden, hvor råvaren er under 60°C.

Total flygtige nitrogen (TVN) i melet er ganske flot. Der er i perioder set et højt fedtindhold i fiskemelet, som kan skyldes forkert varmedenaturering af proteinet eller andre procesbetingelser.

Testen har fjernet usikkerhed omkring stabiliteten på opvarmning / kogning i en spiralvarmeveksler. De udfordringer, der er konstateret med stabiliteten, vurderes at kunne løses. Det er nødvendigt at se nærmere på design i forhold til hygiejne ved stilstand.

Desværre er der konstateret uforudsete udfordringer med kvaliteten. Udfordringerne skal løses, før det er muligt at gå videre. Kan de løses, skal der udarbejdes en businesscase ud fra de indkomne data, med hensyntagen til de ændringer, der måtte være nødvendige at gennemføre i forbindelse med procesoptimering og kvalitetsforbedringer. Såfremt det er en tilfredsstillende businesscase, vil virksomheden ansøge om fyrtårnsprojektet.