

## Slutrapport

# Udvikling af nyt fødeapparat til slaglemøller



F&U projekt under tilskudspuljen for år 2006

Projekt nr.: P. nr. 338-016

Indsatsområde 6: Industrielle processer  
Forbedringen af den enkelte proces gennem  
systemoptimering af processens indgående komponenter.

Projektansøger: Enervision A/S  
Tlf. 73 90 32 00

Marts 2008

## Indholdsfortegnelse

Side

<b>1.</b>	<b>Indledning.....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Konklusion .....</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>Deltagere.....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>Drift med traditionelt fødeapparat .....</b>	<b>13</b>
4.1	Datafangst .....	13
4.2	Dataanalyse.....	16
4.2.1	Resultater .....	23
4.2.2	Basisforbrug til påvisning af besparelse .....	31
<b>5.</b>	<b>Energibalance .....</b>	<b>32</b>
<b>6.</b>	<b>Forsøg med dobbeltformaling.....</b>	<b>36</b>
<b>7.</b>	<b>Konstruktion af nyt fødeapparat .....</b>	<b>40</b>
<b>8.</b>	<b>Drift med nyt fødeapparat.....</b>	<b>43</b>
8.1	Forsøg med nyt fødeapparat og nyt korn .....	43
8.1.1	Datafangst.....	44
8.1.2	Dataanalyse .....	50
8.2	Forsøg med nyt fødeapparat og lagret korn .....	52
8.2.1	Datafangst.....	52
8.2.2	Dataanalyse .....	57
8.3	Gevinst med nyt fødeapparat.....	60
8.3.1	Forbrugets afhængighed af omløbsretningen .....	61
8.3.2	Slagleslid .....	67
8.3.3	Kapacitet .....	73
<b>9.</b>	<b>Konklusion .....</b>	<b>74</b>
9.1	Resultat for opstilling af energibalance .....	74
9.2	Reduktion af forskel som funktion af omløbsretning .....	75
9.3	Resultat for dobbeltformaling .....	77

## Resume

Det primære formål med nærværende F & U projekt var at eliminere forskellen i kapacitet og specifikt forbrug til formaling på slaglemøller.

Problemet med forskellig kapacitet afhængigt af omløbsretningen på møllen er velkendt i den danske grovvare og petfood industri.

Projektet omfattede ligeledes en analyse og opstilling af en energibalance for hele formalingsprocessen.

Endelig blev der arbejdet med en løsning på problemet med forskel i forbruget ud fra en løsning med dobbeltformaling. Dvs. formaling på en mindre mølle umiddelbart inden indløbet til slaglemøllen.

Energibalancen viste, at 74 % af elenergien til slaglemøllen blev omdannet til varme ved formalingen. De resterende 26 % er tab i elmotor og slaglemølle.

Det har ikke været muligt, at bestemme den nødvendige energi til at findele korn til mel med den ønskede struktur. Forsøg med f. eks. valsemøller har dog vist, at opvarmningen af melet kan halveres.

I praksis har det imidlertid vist sig, at der kun kan anvendes mindre mængder valset korn ved fremstilling af piller. Der er ikke samme struktur på melet fra en slaglemølle og en valsemølle.

Der kan således ikke anvises noget sparepotentiale ud fra energibalancen.

I projektet er der udviklet og fremstillet et nyt fødeapparat til slaglemøllen. Der er lavet sammenlignelige forsøg på drift af slaglemøllen med det traditionelle og nye fødeapparat.

Forsøgene viste følgende resultater:

Reduktion i specifikt forbrug til formaling:	15 %
Reduktion i forskel ved omløb:	50 %

Ud fra de formulerede succeskriterier er nærværende projekt således en succes.

Baggrunden for det reducerede forbrug vurderes til:

1. Det nye fødeapparat er reduceret fra 900 mm til 700 mm i bredden. Samtidig er omløbsretningen på sneglene vendt, så de spreder ud i stedet for at samle råvarerne.

Det medfører, at råvaren er mere jævnt fordelt over soldet. Møllen har nemmere ved at formale og komme af med melet. Dvs. opholdstiden i møllen er kortere.

2. Fødningen af møllen er mere ret ned i møllen. Det minimerer forskellen mellem højre og venstre løb på møllen.

Den mere jævne fordeling over soldet bekræftes af et markant mere jævnt slid over hele soldet.

Reduktion i forskellen mellem omløbsretningerne bekræftes af, at kapaciteten gennemsnitligt er blevet den samme, uanset om møllen kører til højre eller venstre.

Samlet er der god sammenhæng mellem de konstaterede parametre med det nye fødeapparat.

Fødeapparatet er klar til markedsføring og salg.

Projektet indeholdt forsøg med formaling på mindre for-mølle inden formaling på slaglemøllen. Der er udarbejdet tegninger på en ny konstruktion, og projektet er klar til at blive igangsat.

Pga. tid og økonomi er projektet pt. i bero. Det overvejes, om der skal arbejdes videre med ideen om dobbeltformaling. Det vil i givet fald blive på kommerciel basis eller ud fra ansøgning og nye projektmidler.

## Summary

The primary issue with the current project was to eliminate the difference in capacity and specific consumption when grinding with hammer mills.

It is a well known problem in the Danish pet food, seed and fertilizing industry that the capacity varies, depending on the direction and rotation of the grinding mill.

Furthermore, the project included an analysis and chart overview on the energy balance for the complete grinding process.

Lastly, a solution to the problem of differences in consumption was constructed where a solution of double milling was suggested. The first grind would be performed on a smaller mill before entering the hammer mill.

The energy balance showed that 74% of the electrical energy consumption used in the grinding process was turned into heat in the flour. The remaining 26% are lost in the electrical motor and the hammer mill itself.

It was not possible to decide upon how much energy was needed to finely sort the corn for the flour according to the desired structure. However, tests with roller mills have shown that the heat loss in the flour can be halved.

In practice, smaller quantities of rolled corn must be used when producing pellets. The structure of the flour from a roller mill is not the same as the structure of the flour from a hammer mill. Therefore potential savings on the energy balance can not be indicated.

The project developed and produced a new feeding device for the hammer mill. Comparable tests on the operation of the hammer mill have been made with both the original and the new feeding device.

The tests showed the following results:

Reduction in specific consumption for grinding:	15 %
Reduction achieved by minimizing difference in circulation:	50 %

Judging by the established success criteria, this particular project has been deemed a success.

The background for reduced consumption is estimated as:

1. The new feeding device has been reduced from 900 mm to 700 mm in width. Simultaneously the circulation direction has been adjusted so that it spreads the raw material instead of gathering it.

This entails that the raw material is more evenly spread over the sieve. It is therefore easier for the mill to grind and get rid of the flour, which means there is a shorter retention time in the mill.

2. Feeding of the mill is better placed in the lower mill. This minimizes the difference between the left and right run on the mill.

The more even distribution over the sieve, results in a marked difference in grind over the entire sieve.

A reduced difference between the circulation directions is confirmed by the fact that by adjusting the circulation direction, the capacity on average is the same whether the mill is running towards the left or the right.

Collectively there is a good coherence between the established parameters with the new feeding device.

The feed device is ready to be marketed and sold.

The project contained tests with grinding on a smaller mill before grinding on the hammer mill. Drawings of the new construction have been produced and the project is ready for implementation.

Because of limiting factors, such as time and finances the project has momentarily been put on hold. It is being considered, whether the idea of double grinding should be developed further. If decided, it would be on a commercial basis or from applying for additional funding.

# 1. Indledning

Gennem omfattende rådgivning på landets foderstofvirksomheder blev det observeret, at der var stor forskel i kapacitet og specifikt energiforbrug til formaling afhængigt af, om slaglemøllen kører højre eller venstre om.

Problemstillingen er velkendt på fabrikkerne, men der er aldrig arbejdet på en løsning.

Der blev nedsat en projektgruppe med aktører fra rådgiverbranchen, foderstofbranchen og maskinindustrien. Denne konstellation sikrede projektet fra idéfase over produktion med efterfølgende salg/implementering i industrien.

## Udvikling af nyt fødeapparat

Den primære løsningsmodel i projektet var udvikling af et nyt fødeapparat til slaglemøllen, så driften af møllen var lige effektiv uanset omløbsretningen.

Veldimensionerede formalingsanlæg ville således få løst problemet med omløbsretningen ved installation af et nyt fødeapparat.

Det forventes, at være en prisbillig løsning udelukkende fokuseret på omløbsretningen.

## Udvikling af mølle til før formaling

Undervejs i projektet blev der endvidere arbejdet med en løsning, som omfattede dobbeltformaling. Dvs. der sættes en for-mølle før selve slaglemøllen. Dette skulle ifølge udenlandske studier øge kapaciteten og sænke det specifikke energiforbrug.

Samtidig var forventningen, at før formalingen af kornet ville give slaglemøllen ens lettere vilkår for formaling uanset omløbsretning. Dette tiltag ville dermed give 3 fordele:

- Øget kapacitet
- Reduceret specifikt forbrug
- Ensartet specifikt forbrug uanset omløbsretning

Løsningen forventes mest rentabel ved manglende kapacitet, men vil være væsentlig mere omkostningstung, da der skal installeres en ny mølle.

## Energibalance

Det sidste indsatsområde i projektet var opstilling af en energibalance på det samlede formalingsanlæg. Energibalancen skulle give en idé om formalingseffektiviteten.

Hvis tabet var for stort, ville der være belæg for et opfølgende F&U projekt til yderligere optimering af formalingsprocessen.

## 2. Konklusion

Der har i nærværende projekt været udført mange målinger af rigtig mange parametre. Den samlede performance for formalingsprocessen og dermed analysen omfatter således mange parametre.

Ud fra dataanalyserne vurderes der god sammenhæng mellem de enkelte resultater og dermed høj troværdighed af målingerne. De dragne konklusioner anses derfor for meget troværdige.

Konklusionen opdeles på de 3 indsatsområder. Konklusionen opdeles i 3 delkonklusioner for hhv.

- Resultat for energibalance
- Resultat for nyt fødeapparat
- Resultat for dobbeltformaling

Herunder redegøres for hvert område.

### Resultat for opstilling af energibalance

Forsøgsresultaterne til opstilling af energibalancen på formalingsanlægget var fint i overensstemmelse med tidligere resultater fra andre aktører, og resultaterne vurderes som meget valide.

Energibalancen viste, at 74 % af den tilførte el-effekt bruges til findelingen. Den tilførte effekt omdannes til varme i hhv. mel, luft og til vandfordampning.

Det er også normalt, at mekanisk energi til deformation omdannes til varme. Dvs. spørgsmålet er, om der er for meget varmeenergi i forhold til den nødvendige energi til det udførte arbejde ved formalingen.

Sammenligningen med varmeudviklingen ved valsning giver en indikation. Ved at valse kornet halveres temperaturstigningen i melet. Dvs. varmeenergien halveres.

Målinger af det specifikke elforbrug viser også en halvering ved at valse kornet i stedet for formaling på slaglemøllen. Dvs. der er god sammenhæng mellem det specifikke elforbrug, temperaturstigningen og strukturen i melet.

Der er imidlertid en helt anden struktur på det mel, som er slået i stykker på en slaglemølle, og det mel som er valset. Det er dermed ikke umiddelbart muligt at opnå samme struktur på melet ved et lavere specifikt elforbrug.

Det kan ikke konkluderes, at det specifikke forbrug ikke kan sænkes ved mere optimal drift af slaglemøllen. Der kan således godt ligge et potentiale ved optimering af slaglemøllens drift. Virkningsgraden på 74 % vurderes dog relativt høj.



### Reduktion af forskel som funktion af omløbsretning

Der blev udført en basismåling med det traditionelle fødeapparat på en udvalgt mølle. Herefter blev der konstrueret et nyt fødeapparat og lavet et nyt full scale anlæg på det udvalgte anlæg, hvor basismålingerne var udført.

Der blev herefter udført sammenlignelige forsøg med forskellige grader af slagleslid. Der blev udført forsøg med måling af det specifikke elforbrug som funktion af slaglesliddet.

Herefter blev der indtegnet kurver, og arealerne under kurverne blev beregnet. Arealet er et udtryk energiforbruget over et sæt slaglers levetid (2 hjørner).

Herunder ses de beregnede værdier for det absolutte forbrug:

<b>Sammenligning af arealer for forbrug</b>			
	Højre	Venstre	I alt
Lagret korn, trad. fødeapparat	703	810	1.530
Nyt korn, nyt fødeapparat	818	791	1.609
Lagret korn, nyt fødeapparat	647	650	1.297

Enheden på værdierne er kWh/tons pr. time. Ved at gange med antallet af driftstimer og antallet af formalede tons fås det samlede forbrug i kWh ved at følge den aktuelle kurve.

Forbruget til formaling af lagret korn er faldet. Det procentuelle fald udgør:

$$(1.530 - 1.297) / 1.530 \cdot 100 \% = 15 \%$$

Det nye fødeapparat har således medført en reduktion i det absolutte forbrug til formaling på 15 %.

Skemaet herunder viser forskellen i det specifikke forbrug som funktion af omløbsretningen før og efter:

<b>Forskel i specifikt forbrug</b>	
	Forskel
Lagret korn, trad. fødeapparat	107
Nyt korn, nyt fødeapparat	56
Lagret korn, nyt fødeapparat	54

Ved sammenligning af det samlede forbrug lå nyt korn højest. Ved sammenligning af forskellen i det specifikke forbrug som funktion af omløbsretningen ses det, at forskellen i begge tilfælde er reduceret til halvdelen.

Der sammenlignes på lagret korn. Det procentuelle fald udgør:

$$(107 - 54) / 107 \cdot 100 \% = \qquad \qquad \qquad \mathbf{50 \%}$$

Det nye fødeapparat har således medført en reduktion i forskellen med 50 %.

Baggrunden for det reducerede forbrug vurderes til:

1. Det nye fødeapparat er reduceret fra 900 mm til 700 mm i bredden. Samtidig er omløbsretningen på sneglene vendt, så de spreder ud i stedet for at samle råvarerne.

Det medfører, at råvaren er mere jævnt fordelt over soldet. Møllen har nemmere ved at formale og komme af med melet. Dvs. opholdstiden i møllen er kortere.

2. Fødningen af møllen er mere ret ned i møllen. Det minimerer forskellen mellem højre og venstre løb på møllen.

Den mere jævne fordeling over soldet bekræftes af et markant mere jævnt slid over hele soldet.

Reduktion i forskellen mellem omløbsretningerne bekræftes af kapaciteten stort set er blevet den samme, uanset om møllen kører til højre eller venstre.

Samlet er der god sammenhæng mellem de konstaterede parametre med det nye fødeapparat.

Målt på de primære faktorer har projektet således været en succes.

#### Resultat for dobbeltformaling

Der blev konstrueret en ny lille mølle og kørt forsøg. Imidlertid viste forsøgene, at konstruktionen med slagler og trådsold ikke kunne opfylde de opstillede kriterier.

Der blev herefter tegnet en ny mølle med et andet formalingsprincip.

Denne del af projektet kom ikke længere, da der manglende økonomi og tid til at lave projektet færdigt.

Projektet er dog stadig aktuelt, da der er gode perspektiver i dobbeltformaling.

Det overvejes, om projektet skal færdiggøres på kommerciel basis, eller der skal søges nye midler.

### 3. Deltagere

Den projektansvarlige virksomhed er:

Enervision A/S  
Præstegårdsvej 9  
6534 Agerskov

Tlf: 73 90 32 00  
Fax: 73 90 32 01  
E-mail: [Enervision@enervision.dk](mailto:Enervision@enervision.dk)  
CVR nr.: 18 94 48 04

Underskriftansvarlig: Afdelingsleder Gert Mortensen  
Projektansvarlig: Energisynskonsulent Kim Falck Grony

Desuden deltager følgende i projektet:

**Deltager 1:** PRO - CONSULT KOLDING Aps  
Julivænget 52  
6000 Kolding

Tlf.: 75 51 82 74 / 40 72 65 78  
Fax: 75 51 82 74  
E-mail: KEUN@mail.dk  
CVR nr.: 28 86 72 63

Projektdeltager: Direktør Albert Keun

**Deltager 2:** DLG Produktion  
Mindet 6  
8000 Århus C.

Tlf.: 33 68 66 60  
Fax: 86 20 26 51  
E-mail: PGG@dlg.dk  
CVR nr.: 24 24 69 30

Projektdeltagere: Teknisk chef Poul Gregersen  
Energiansvarlig Peter Jensen

**Deltager 3:** Korsbæk & Partnere  
Jupitervej 2  
7000 Fredericia

Tlf.: 75 94 37 01  
Fax: 75943119  
E-mail: KC@korsbaek.dk  
CVR nr.: 13776083

Projektdeltager: Partner Kent Christensen

Ud over ovennævnte deltagere har der været følgende væsentlige underleverandører:

Børkop Industri Service Aps  
Industrivej 25 A  
7080 Børkop

EUROmilling  
Højvangsvej 8  
4340 Tølløse

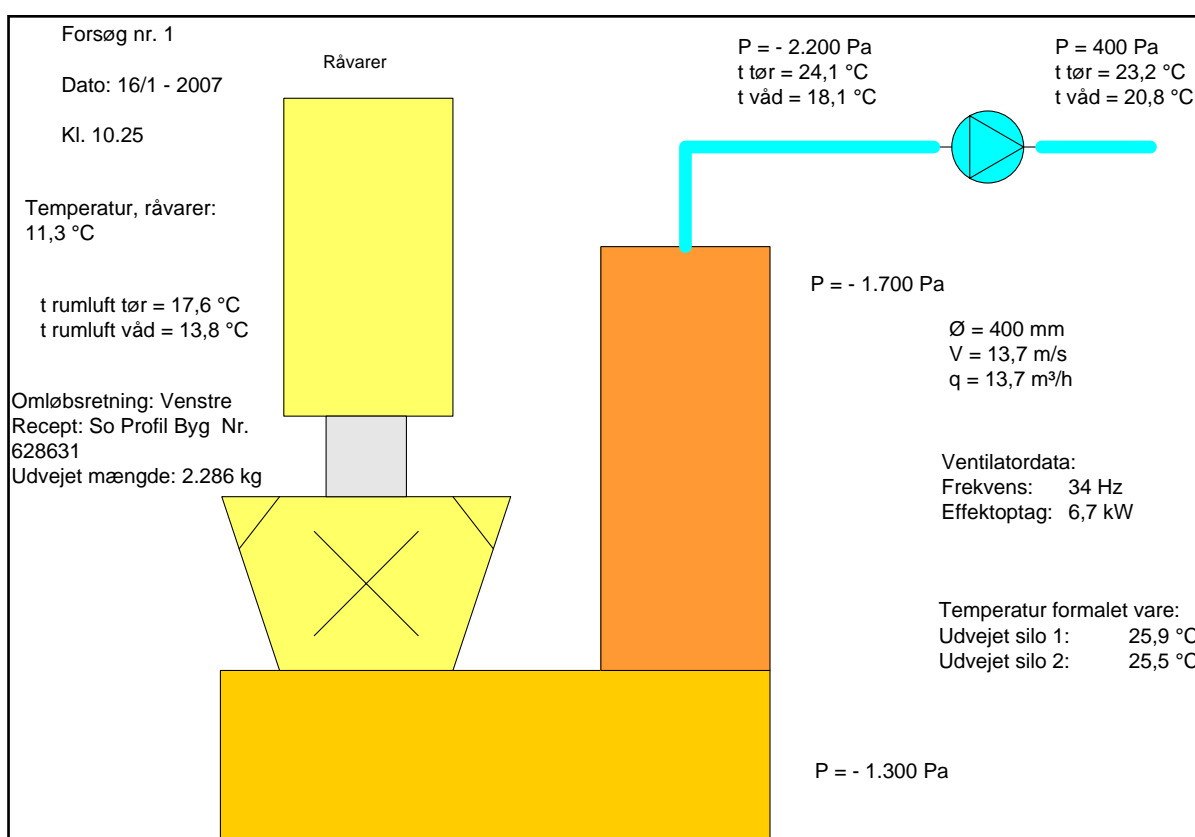
Førstnævnte har bygget det nye fødeapparat, mens Euromilling har været med i brainstorming og forsøg med konstruktion af formølle til dobbeltformaling.

## 4. Drift med traditionelt fødeapparat

For at kunne påvise effekten af de udførte tiltag samt opstille en energibalance var det nødvendigt med en række basismålinger, som efterfølgende skulle kunne gentages.

### 4.1 Datafangst

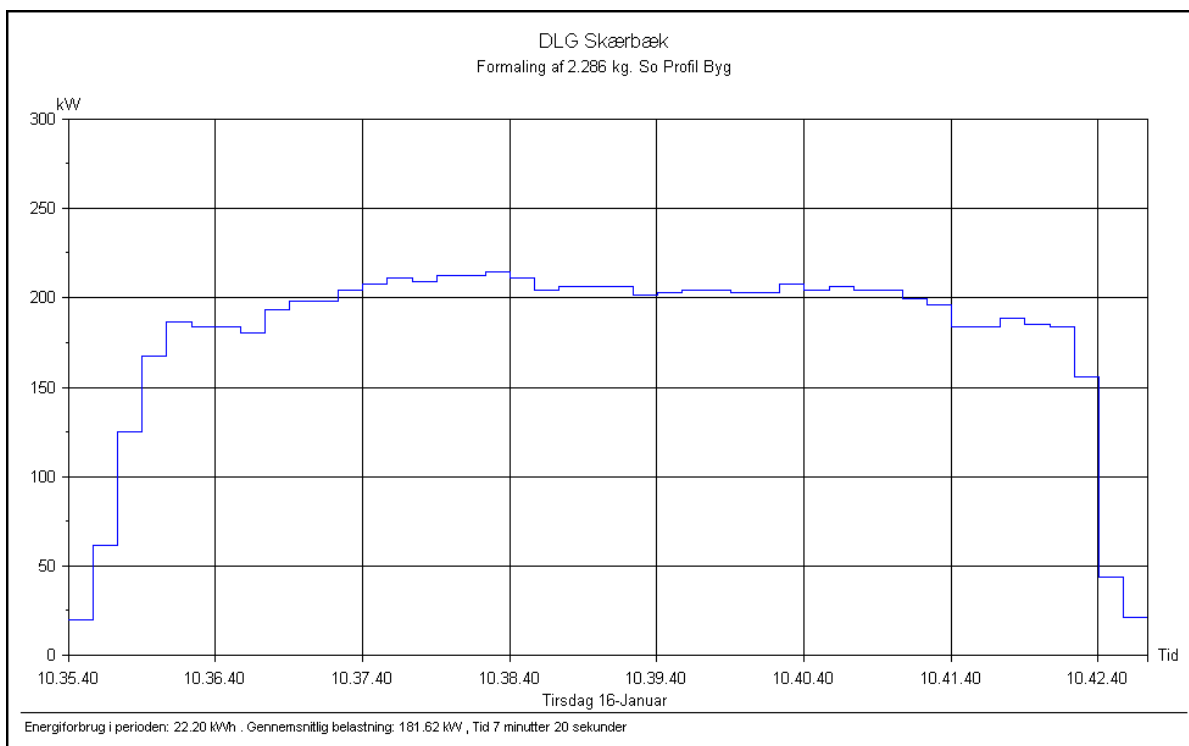
Til brug for energibalancen blev følgende værdierne ifølge nedenstående tegning registreret:



Anlægstegningen viser hhv. råvaresilo, slaglemølle, dome, posefilter og ventilator.

Til brug for energioptagelsen i møllen blev der målt på denne.

Energiregistreringen ses herunder:



Der blev kørt 2 charge for hvert forsøg. Ovenstående charge er 2. charge. Der opstod stop i hvert forsøg på 1. charge, fordi der blev åbnet en lem til udtagning af vareprøver.

Følgende blev her registreret:

Chargetid: 430 sek.  
Energiforbrug: 22,2 kWh

Ud fra disse data samt kendskab til den formalede charge kan følgende værdier beregnes:

Specifikt energiforbrug:  $22,2 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 9,71 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $2,286 \text{ tons} \cdot 3.600 / 430 = 19,1 \text{ tons/h}$

Ud over disse data blev følgende også registreret:

- slaglesliddet som antal timer i drift.
- belastningssetpunkt på mølle.
- sigteanalyse på råvarer fra hvert forsøg.

Sigteanalyserne er foretaget på DLG's centrallaboratorium. Der er efterfølgende beregnet et modulus på hver prøve.

Der blev udført 3 forsøgsrækker med forskelligt slagleslid:

Forsøg med nye slagler  
Forsøg med halvslidte slagler  
Forsøg med slidte slagler

Det var oplyst, at slaglerne vendes/skiftes efter 200 timer. Grundforsøgene skulle derfor udføres ved 0, 100 timer og 200 timers slid.

Det viste sig efterfølgende, at det ikke var muligt at køre mere end ca. 80 timer på et hjørne, før det var slidt ned.

Dette fik betydning senere i projektet, idet der var for mange driftstimer i de grundlæggende målinger.

## 4.2 Dataanalyse

Alle tryk- og temperaturmålinger var primært til brug for analysen af energibalancen på anlægget. Følgende data anvendes til analyse af forbruget med traditionelt fødeapparat:

- Belastningssetpunkt på mølle
- Omløbsretning
- Slagleslid
- Specifikt energiforbrug
- Sigteprofil / modulus
- Luftmængde

Der er følgende kommentarer til de enkelte parametre:

### Belastningssetpunkt på mølle

For at afgøre om det havde betydning, hvor hårdt møllen blev udnyttet rent kapacitetsmæssigt, blev der i 2. og 3. forsøgsrække lavet forsøg med 2 forskellige belastningssetpunkter.

Der blev lavet forsøg med et belastningssetpunkt på 400 A og 550 A. Møllemotorens nominelle strøm er på 580 A.

Møllen udnyttede imidlertid slet ikke det højere setpunkt. Det skyldtes, at fabriksstyringen krævede en ny recept, inden ændringerne trådte i kraft.

Da der kun er data for et belastningssetpunkt på 2. og 3. forsøgsrække, blev det valgt kun at bruge 400 A målingerne i den samlede analyse.

Det endte imidlertid med, at det kun var i de grundlæggende målinger, at møllen kørte med 400 A i belastningssetpunkt. Alle forsøg med det nye fødeapparat blev udført med en belastningsstrøm på 550 A.

Ud fra de foretagne registreringer var der dog en tendens til et lille merforbrug på 0,1 - 0,2 kWh/tons ved halvslidte slagler for både højre og venstreløb ved høj belastning på møllen.

Ved slidte slagler var der et merforbrug på 0,5 - 0,6 kWh/tons ved højreløb og høj belastning. Ved venstreløb falder det ene forsøg uden for, mens det andet viser et fald på 0,5 kWh/tons.

Analysen er foretaget på baggrund af resultaterne ved et belastningssetpunkt på 400 A, da der var resultater for alle 3 kombinationer af slagleslid ved de 400 A.



### Omløbsretning

Da projektets primære formål er at eliminere forskellen i kapacitet og specifikt energiforbrug ved hhv. højre- og venstreløb, er alle forsøg lavet ved både højre- og venstreløb.

### Slagleslid

For at undersøge hvilken indflydelse slaglesliddet har på energiforbruget, er der målt ved 3 forskellige slid. Der er målt med hhv. nye slagler, halvslidte slagler og brugte slagler.

### Specifikt forbrug

Det specifikke forbrug er målt ud fra energiforbruget, som tidligere beskrevet.

### Sigteprofil / modulus

For hvert forsøg er der udtaget en prøve. Den er efterfølgende analyseret for fordelingen af partikler på størrelse. Ud fra denne fordeling er der beregnet et modulus. Herunder ses et eksempel:

Forsøg nr	15
<b>Kontrolparti.</b>	<b>85153197</b>
gram afvejet	221,1
Beregnet ud fra ovenstående	gram
>2,8mm	3,87
2mm<p<2,8mm	28,21
1,0mm<p<2mm	79,42
<1mm	109,69
Beregnet ud fra ovenstående	%
>2,8mm	1,8
2mm<p<2,8mm	12,8
1,0mm<p<2mm	35,9
<1mm	49,6
9,50mm	0,0 x 7 = 0
5,00mm	0,0 x 6 = 0
2,50mm	1,8 x 5 = 9
1,25mm	12,8 x 4 = 51,2
0,630mm	85,5 x 3 = 256,5
0,315mm	0,0 x 2 = 0
0,125mm	0,0 x 1 = 0
Pan	0,0 x 0 = 0
Total	316,7
<b>Finheds Modulus</b>	<b>3,167</b>

Ud fra definitionen på modulus kan profilerne kategoriseres.

Definitionen på modulus er følgende:

Meget fin formaling:	1,50
Fin formaling:	2,30
Mellem / grov formaling:	3,20
Grov formaling:	4,10

For svinefoder bør modulus ligge omkring 2,75.

Fordelen ved at bruge modulus er, at der er et tal for den samlede sigteprofil. Dermed bliver analyserne mere overskuelige.

#### Luftmængde

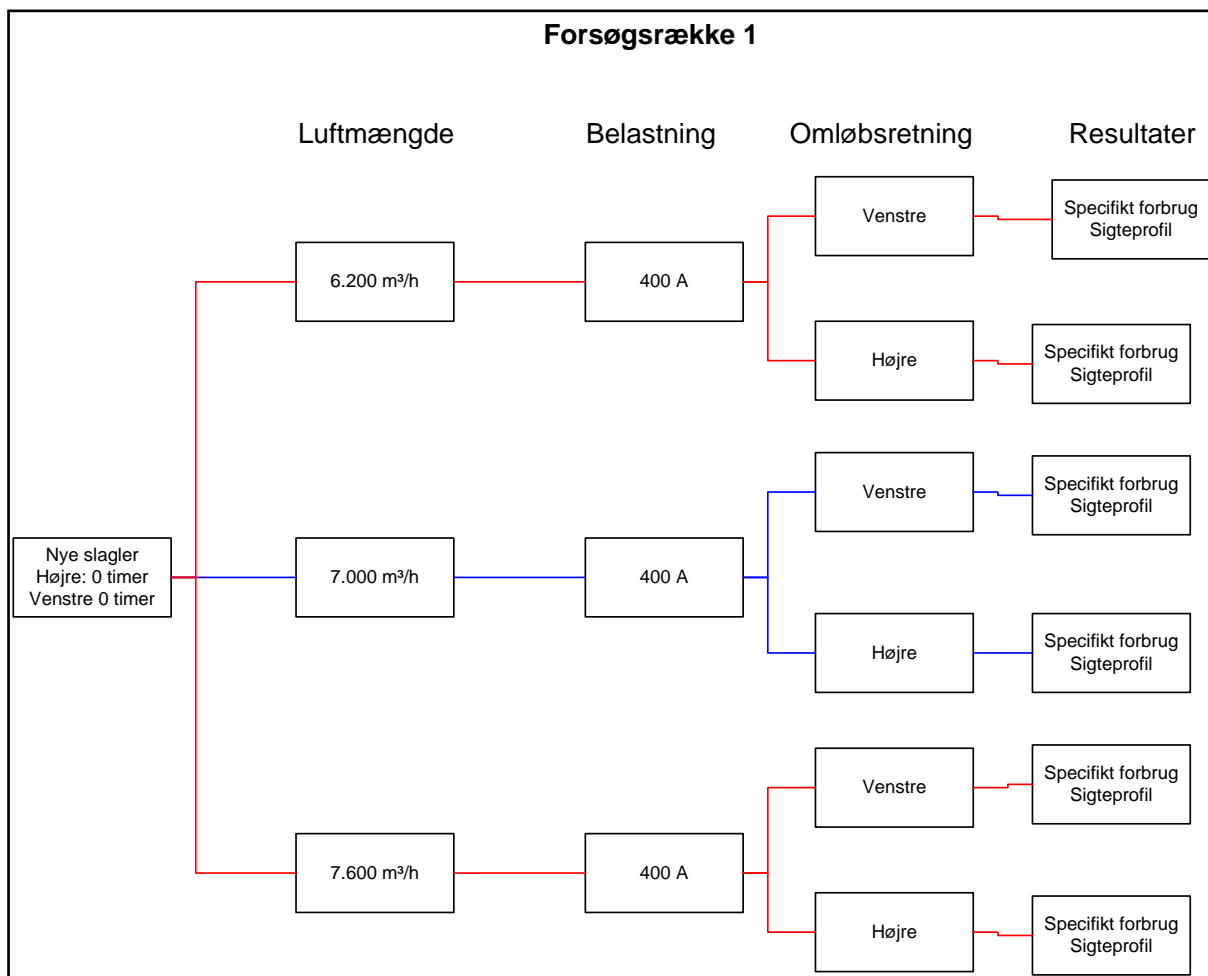
For at se luftmængdens indflydelse på det specifikke energiforbrug, sigteprofil mv. er der målt ved lav og høj luftmængde. Værdierne har ændret sig lidt i de 3 forsøgsrækker.

Det skyldes tilsmudsning af filteret og indregulering via setpunktet for frekvensen i stedet for luftmængden i forsøgsrække 2.

For forsøgsrække 3 er der indreguleret efter luftmængden, men indreguleringen har ikke været helt præcis.

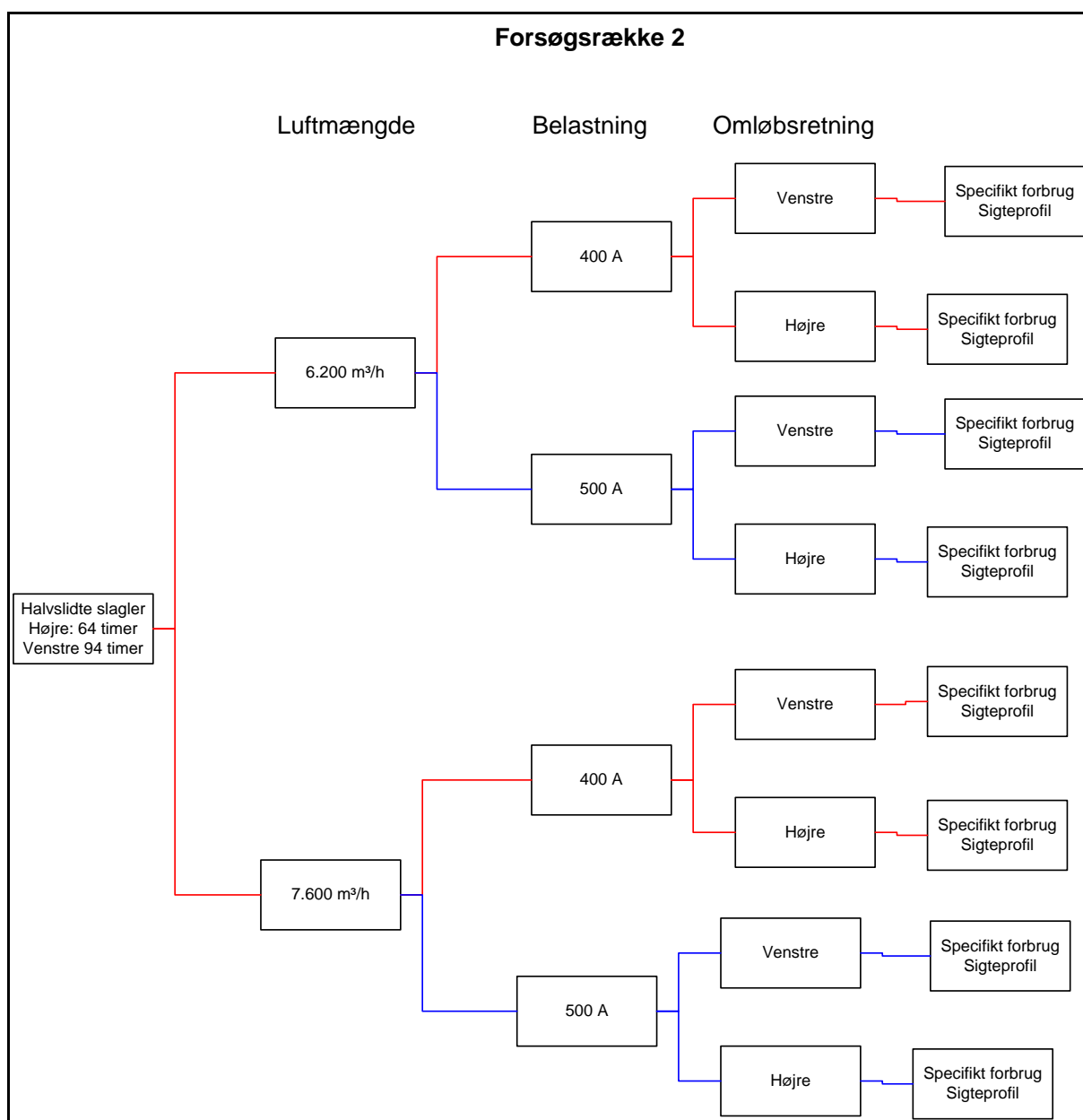
Der kan således være lidt influens på resultaterne pga. luftmængden.

Nedenstående figur viser systematikken i forsøgsrækkerne:



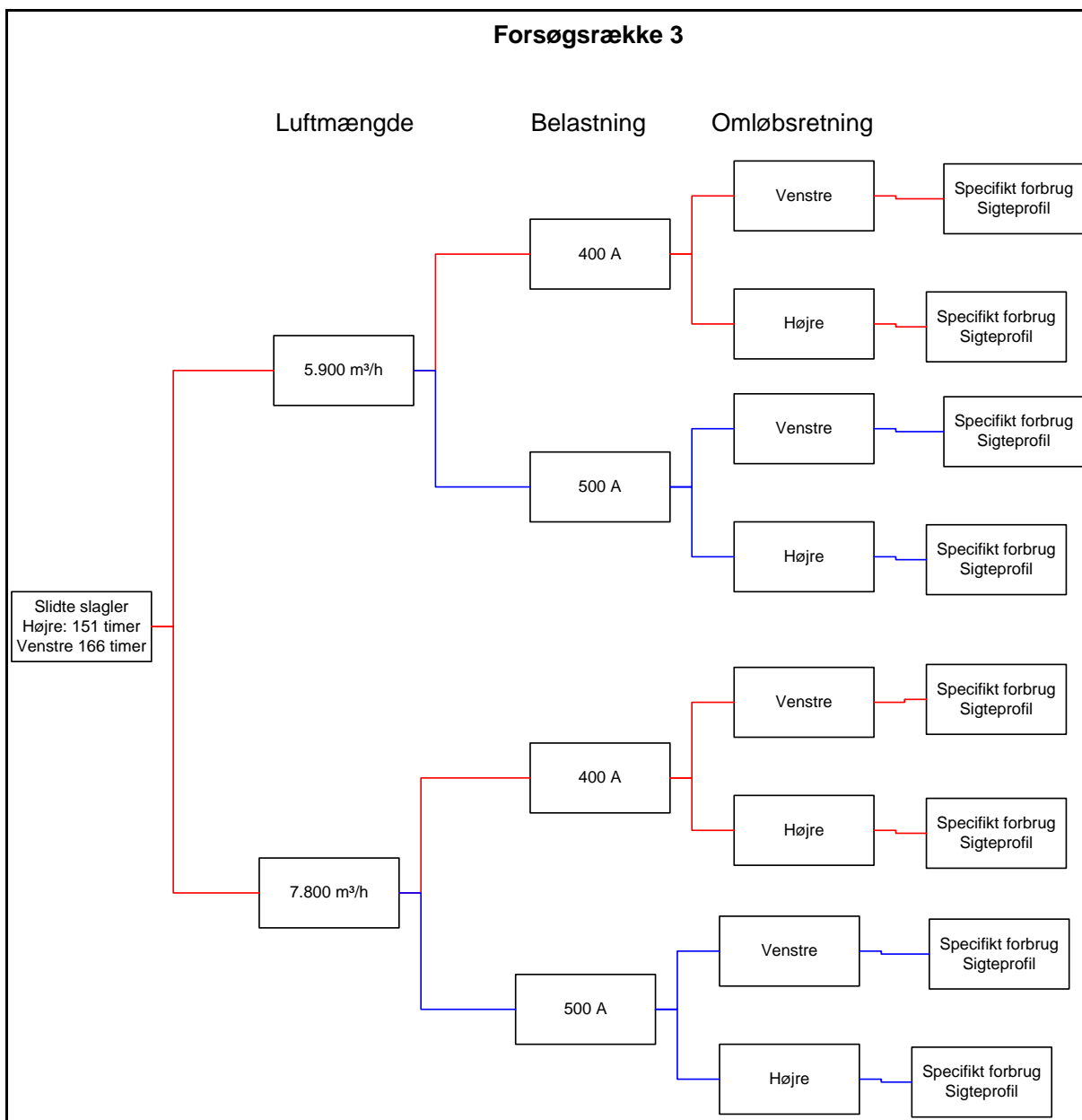
De røde streger angiver de måleresultater, som er anvendt i den endelige analyse.

Herunder ses forsøgsrække 2:



Som det ses, er der foretaget 8 forsøg. Heraf er alle resultaterne ved 400 A blevet anvendt i den videre undersøgelse.

Herunder ses forsøgene i forsøgsrække 3:



Det ses, at slaglerne er mere slidd. Samtidig er luftmængden lidt forskellig fra forsøgsrække 2. Det skyldes mere tilstoppede poser kombineret med en lidt upræcis indstilling af frekvensomformereren.

Herunder ses de samlede resultater til brug for synliggøre effekten af de påtænkte tiltag:

Forsøg nr.	Frekvens [Hz]	Luftmængde [m³/h]	Chargetid [sek.]	Kapacitet [tons]	Effekt venti [kW]	Belastningssetpunkt r [A]	Specifikt forbrug [kWh/tons]	Omløb [H/V]	Slagleslid [timer]	Sigteprofil
1	34	6.200	430	19,1	6,7	400	9,7	V	0	3,28
2	38	7.300	410	20,1	9,0	400	9,7	V	0	3,26
3	42	7.500	410	20,1	12,4	400	9,5	V	0	3,23
4	34	6.100	390	21,1	6,4	400	9,0	H	0	3,26
5	38	6.700	400	20,6	9,0	400	9,4	H	0	3,29
6	42	7.700	400	20,6	12,3	400	9,2	H	0	3,17
7	34	6.200	390	21,1	7,2	400	8,6	H	64	3,58
8	42	7.500	400	20,6	13,5	400	8,7	H	64	3,60
9	34	6.200	390	21,1	7,2	500	8,8	H	64	3,58
10	42	7.700	395	20,8	13,5	500	8,9	H	64	3,60
11	34	6.200	435	18,9	7,2	400	10,1	V	94	3,62
12	42	7.700	440	18,7	13,5	400	10,1	V	94	3,57
13	34	6.200	405	20,3	7,2	500	10,2	V	94	3,59
14	42	7.700	445	18,5	13,5	500	10,1	V	94	3,56
15	38	5.900	275	29,9	8,8	400	6,9	H	151	3,17
16	46	7.800	280	29,4	15,9	400	7,2	H	151	3,18
17	38	5.900	295	27,9	8,8	550	7,5	H	151	3,17
18	46	7.800	290	28,4	15,9	550	7,7	H	151	3,17
19	38	5.900	340	24,2	8,8	400	9,6	V	166	3,14
20	46	7.800	340	24,2	15,9	400	9,3	V	166	3,16
21	38	5.900	310	26,5	8,8	550	8,2	V	166	3,16
22	46	7.800	325	25,3	15,9	550	8,8	V	166	3,15

Det ses, at ventilatoren optager mere og mere effekt, for at holde luftmængden over møllen.

## 4.2.1 Resultater

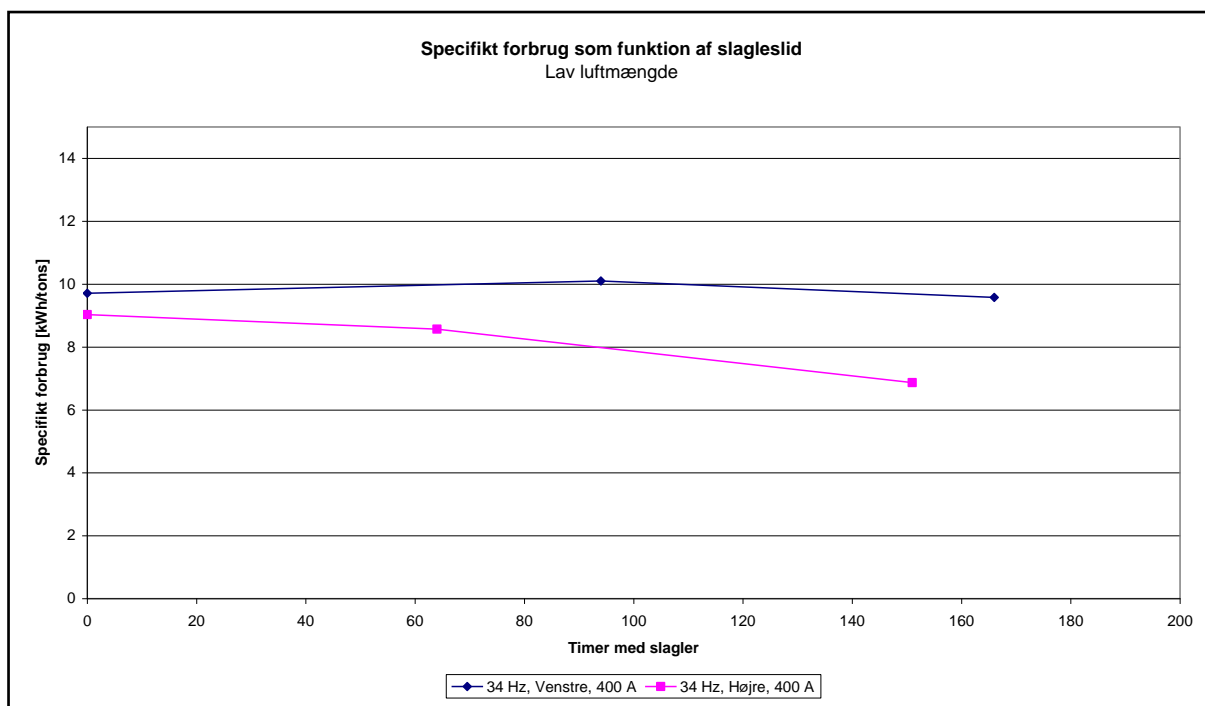
Der sammenlignes ud fra luftmængden ved forsøgene. Desuden analyseres sammenhængen mellem specifikt forbrug og luftmængde ved samme slagleslid.

### 4.2.1.1 Resultater for drift med lav luftmængde

Der analyseres for sammenhæng mellem slagleslid og specifikt forbrug samt mellem slagleslid og sigteprofil.

#### Analyse af sammenhæng mellem specifikt forbrug og slagleslid

Herunder ses sammenhængen mellem slagleslid og specifikt forbrug ved lav luftmængde:



Den lave luftmængde på 6.200 m<sup>3</sup>/h ligger lidt under nominal luftmængde for en Optimill 900 på 6.400 m<sup>3</sup>/h.

Ved venstreløb stiger effektoptaget lidt ved halvslide slagler for atter at falde med helslide slagler.

Ved højreløb falder det specifikke forbrug markant med slaglesliddet.

Det faldende forbrug ved mere slide slagler skyldes formodentlig en mere optimal afstand mellem slagler og sold.

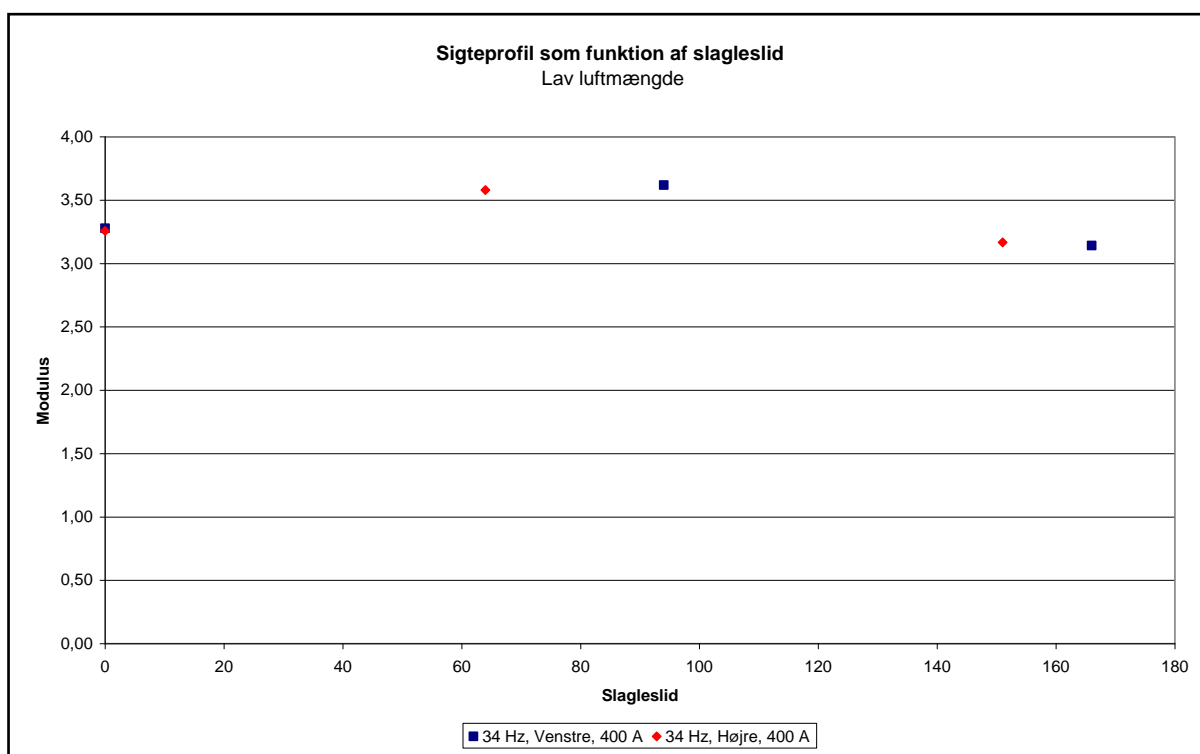
Skemaet herunder viser en sammenligning af forbruget ved samme slagleslid:

Specifikt forbrug ved lav luftmængde				
Slagleslid	Venstre	Højre	Forskel	Procent
Nye	9,71	9,03	0,68	7 %
Halvslidt	10,10	8,57	1,53	15 %
Slidt	9,58	6,87	2,71	28 %
Gennemsnit	9,80	8,16	1,64	17 %

Der ses en klar tendens til, at det specifikke forbrug falder kraftigere ved højrekørsel, efterhånden som slaglerne slides, end når møllen kører venstre om. Gennemsnitligt kører møllen mest effektivt ved højrekørsel.

#### Analyse af sammenhæng mellem slagleslid og sigteprofil

Figuren herunder viser sammenhængen mellem slaglesliddet og sigteprofilen:



Ved slidte slagler faldt det specifikke forbrug. Det ses af figuren herover, at der samtidig formales finere. Dette resultat er lidt overraskende. Det skyldes formodentlig større afstand mellem sold og slagler. Med nye slagler ligger finhedsmodulus på knapt 3,3.

Efter 64 hhv. 94 timers drift med slaglen stiger finhedsmodulus til omkring 3,6. Dvs. der formales grovere end med nye slagler.

Ved 155 hhv. 166 timers drift falder finhedsmodulus igen til omkring 3,15. Dvs. der formales finere, som også var forventet. Der er god sammenhørighed i værdierne.

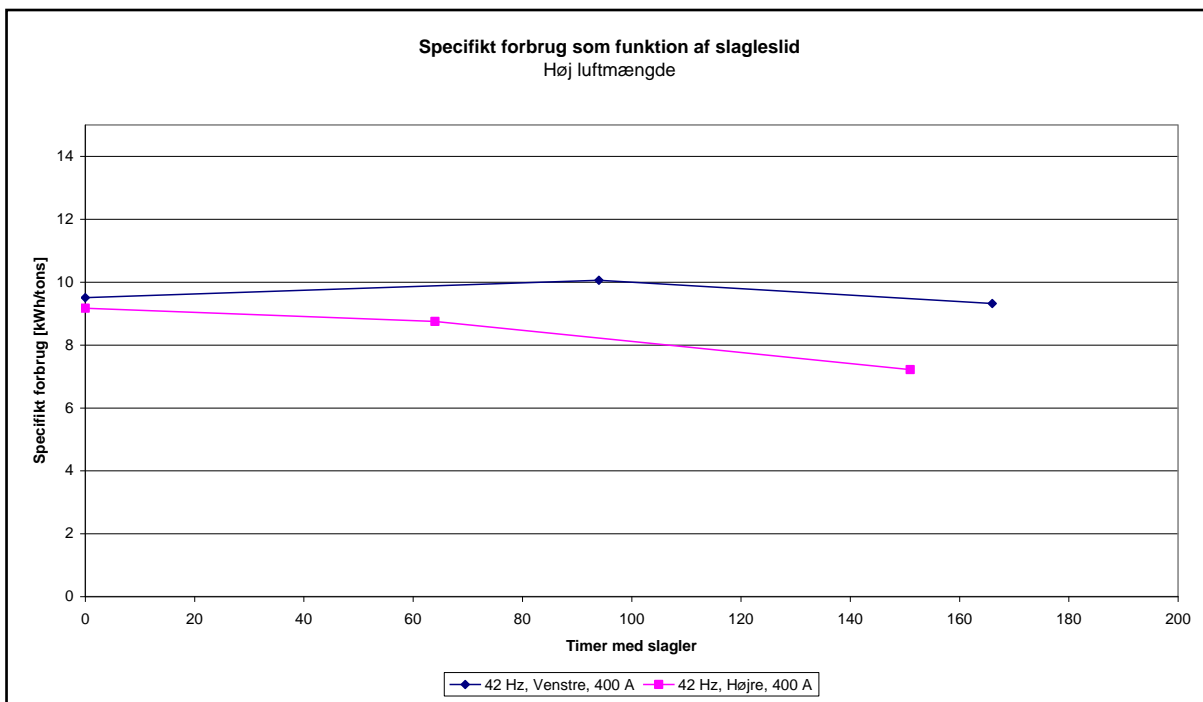


#### 4.2.1.2 Resultater for drift med høj luftmængde

Der analyseres også her for sammenhæng mellem slagleslid og specifikt forbrug samt mellem slagleslid og sigteprofil.

##### Analyse af sammenhæng mellem specifikt forbrug og slagleslid

Herunder ses sammenhængen mellem slagleslid og specifikt forbrug ved høj luftmængde:



Der ses samme billede, som ved driften med lav luftmængde.

Ved venstreløb stiger effektoptaget lidt ved halvslidte slagler for atter at falde med helslidte slagler. Ved højreløb falder det specifikke forbrug markant med slaglesliddet.

Der er også her stor spredning i energiforbruget fra nye til slidte slagler. Det gælder specielt ved drift med højreløb på møllen. Ved venstreløb er der kun mindre udsving i det specifikke forbrug.

Det højeste energiforbrug er også ved venstreløb ved den høje luftmængde.

Skemaet herunder viser en sammenligning af forbruget ved samme slagleslid:

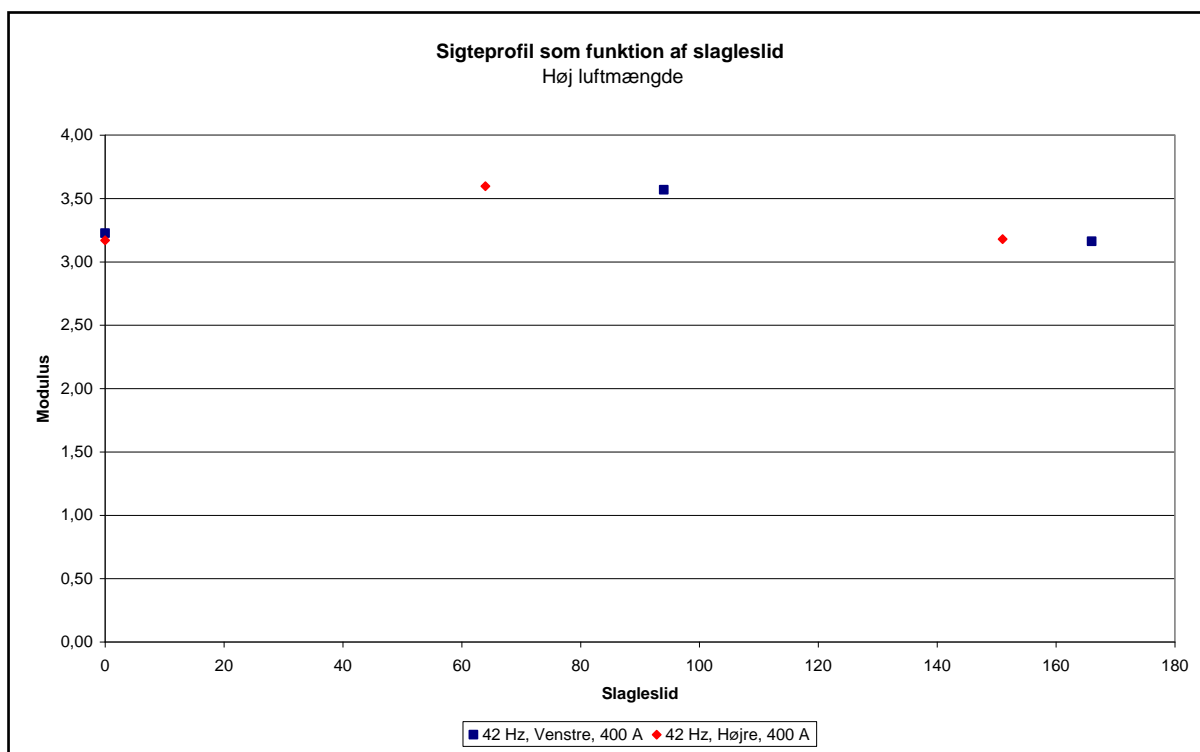
Specifikt forbrug ved høj luftmængde				
Slagleslid	Venstre	Højre	Forskel	Procent
Nye	9,51	9,17	0,34	4 %
Halvslidt	10,06	8,75	1,31	13 %
Slidt	9,32	7,22	2,1	23 %
Gennemsnit	9,63	8,38	1,25	13 %

Der ses en klar tendens til, at det specifikke forbrug falder kraftigere ved højrekørsel, efterhånden som slaglerne slides, end når møllen kører venstre om.

Den øgede luftmængde har ikke ændret ved, at møllen kører mest effektivt ved højrekørsel.

#### Analyse af sammenhæng mellem sigteprofil og slagleslid

Figuren herunder viser sammenhængen mellem slaglesliddet og sigteprofilen:

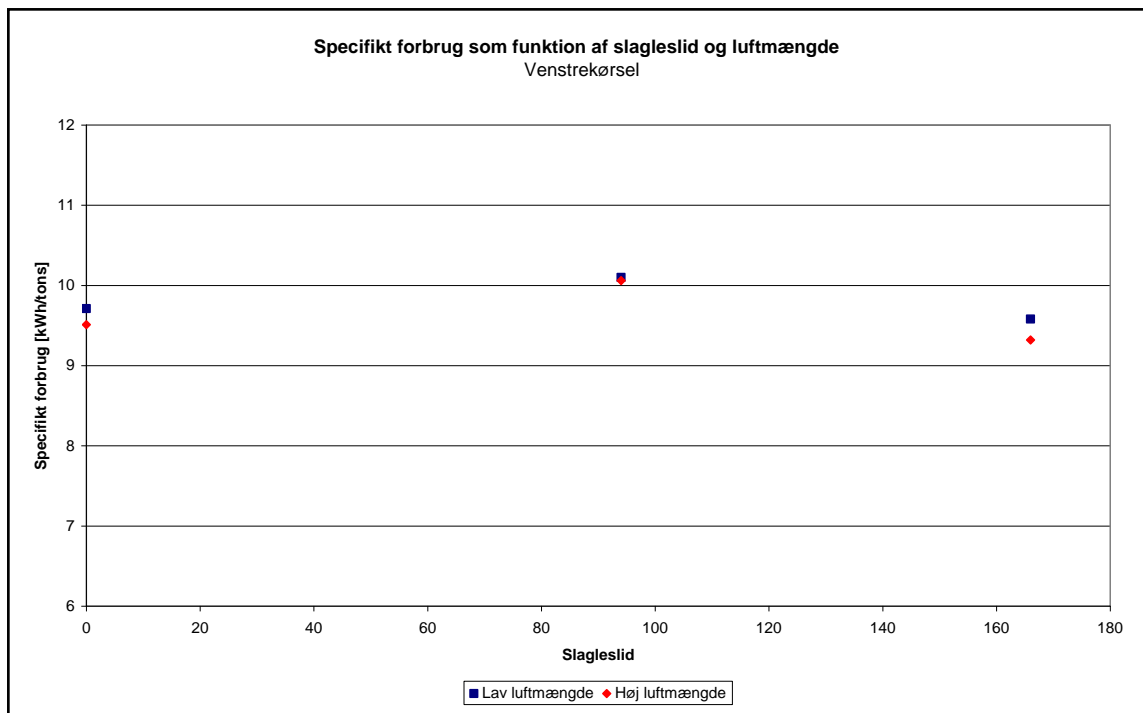


Profilen er stort set uændret i forhold til den lavere luftmængde.

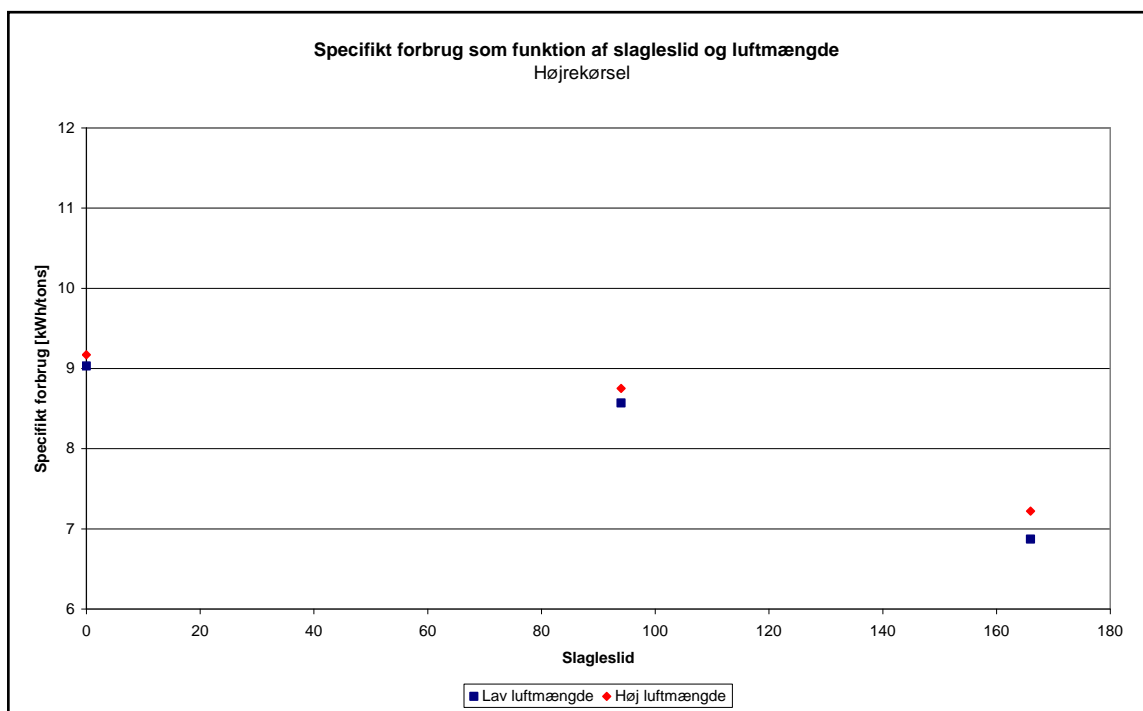
Dvs. den foretagne ændring i luftmængden har ikke været så markant, at det har ændret profilen på sigteanalysen.

### 4.2.1.3 Analyse af luftmængde og omløbsretning ved samme slagleslid

Herunder ses punkterne for sammenhængen mellem specifikt forbrug og luftmængde ved samme omløbsretning og slagleslid:



Det ses, at ved venstrekørsel ligger forbruget ved samme slagleslid højest med lav luftmængde. Herunder ses højrekørsel:



Ved højrekørsel ligger forbruget højest ved den høje luftmængde.

Ovenstående iagttagelse er interessant. Der kan konkluderes følgende på luftmængdens indflydelse på det specifikke forbrug til formalingen på møllen:

***Ved venstrekørsel stiger det specifikke forbrug ved lavere luftmængde***

***Ved højrekørsel stiger det specifikke forbrug ved højere luftmængde***

Ovenstående har sandsynligvis baggrund i fordelingen af varer i møllen. Der sidder en ledeplade ved indløbet til møllen, som skal tilpasse varestrømmen ind i møllen med omløbsretningen.

Der vil alligevel være forskel mellem højre og venstrekørsel.

Ved højrekørsel kommer råvarerne principielt ned i møllen i modstrøm med retningen af slaglerne. Blandingen af luft og råvarer rammer således slaglerne i en mere spids vinkel, som bremser slaglerne.

Det vurderes som baggrunden for stigende forbrug ved stigende luftmængde.

Ved venstrekørsel kører råvarer og luft lige ind i møllen i medstrøm med retningen af slaglerne. Lavere luftmængde giver mindre overført energi til møllen og dermed højere specifikt forbrug.

Højere luftmængde hjælper møllen på vej.

#### 4.2.1.4 Konklusion på basismålinger

Slaglemøllen formaler mest effektivt, når den kører til højre. Det gælder både ved høj og lav luftmængde.

Her defineres højrekørsel som omløbsretning mod luftindtaget på fødeapparatet. Dvs. omløbsretningen set fra mølleenden.

Ved stigende luftmængde blev forskellen mindre, men der var fortsat markant forskel. Forskellen blev markant mere udpræget ved slidte slagler.

Sigteanalyserne viste, at der blev formalet finere og med mindre forbrug ved slidte slagler end ved halvslidte slagler.

##### Analyse og konklusion på forskelligt forbrug afhængigt af omløbsretning

Ved højrekørsel kommer luft og råvarer ned i modstrøm med slaglerne. Råvaren doseres koncentreret ind i møllen, da fødesneglen afleverer varerne i en stråle. Pga. modstrømmen spredes råvarerne bedre ud over soldet.

Dvs. fordelingen af varer i møllen bliver mere jævn, og der formales med mindre specifikt forbrug, fordi råvarerne hurtigt kommer ud af møllen igen.

Ved venstrekørsel afleveres varerne også i en stråle ind i møllen. Varerne suges i medstrøm rundt med slaglerne og spredes derfor ikke ud over soldet. Dermed vil der blive trukket et tykkere lag råvarer med rundt inden formaling.

Råvarernes opholdstid i møllen øges, og det specifikke forbrug vil være højere.

Det bemærkes, at forskellen mellem højre og venstre omløb i forhold til råvareindtaget er forsøgt minimeret ved hjælp af et ledepladespjæld i indløbet til møllen.

##### Analyse og konklusion på høj og lav luftmængde.

Det blev konstateret, at forbruget ved højrekørsel steg ved øget luftmængde. Stigningen er ikke markant og skyldes formodentlig det faktum, at råvarerne kommer mere ind i modstrøm med slaglerne på trods af ledespjældet i møllen.

Jo højere luftmængde og dermed hastighed på blandingen af luft og råvarer, jo mere modstand til slaglerne. Dermed stiger det specifikke forbrug.

Ved venstrekørsel er det lige omvendt. Blandingens af luft og råvarer hjælper slaglerne rundt. Falder luftmængden kommer der mindre energi til møllen, og det specifikke forbrug stiger.

### Konklusion på lavere forbrug og finere formaling ved slidte slagler

Ønsket for en formalingsproces er normalt så fin formaling som muligt med så lavt specifikt forbrug som muligt.

Det er normalt 2 modsat rettede størrelser.

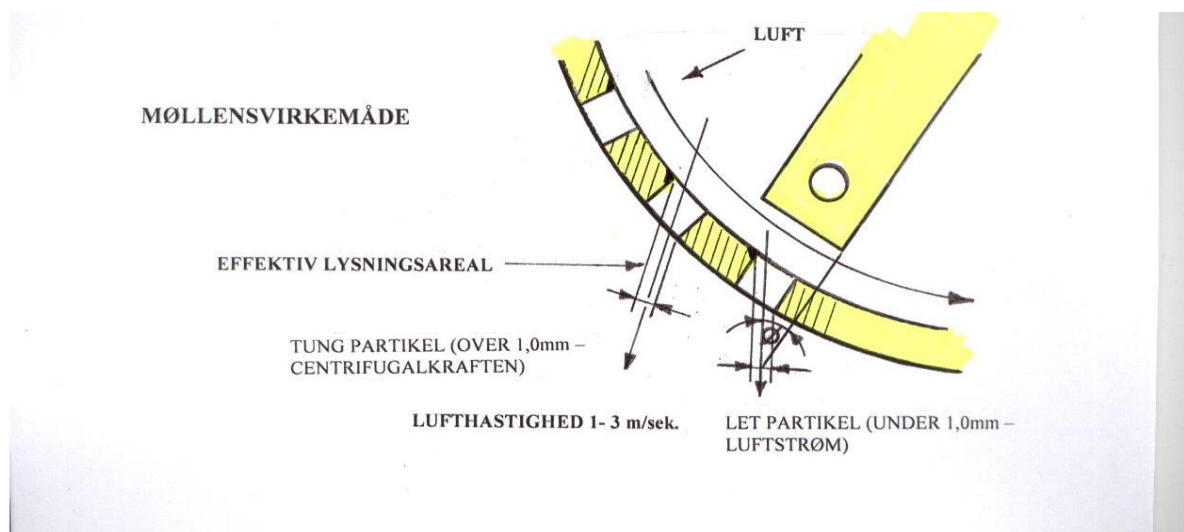
Forsøgene viste imidlertid, at ved meget slidte slagler faldt det specifikke forbrug også.

Dette fænomen kan forklares ud fra afstanden mellem sold og slagler. Forsøg har således vist, at den ideelle afstand mellem sold og slagler ved en 3,0 mm sold er 15 mm.

Standard i danske Optimill 900 møller er 175 mm slagler. Det giver en afstand mellem sold og slagler på 8 mm.

Vælges 160 mm slagler vil afstanden være ideel med 15,5 mm. De slidte slagler giver øget afstand mellem sold og slagler og bekræfter dermed teorien omkring den ideelle afstand.

Figuren herunder illustrerer forholdet mellem sold og slagler:



Det er afstanden fra spidsen af slaglen og ud til soldet, som bør være 15 mm. Afstanden er ikke indtegnet.

Baggrunden for, at der ikke bare vælges 160 mm slagler som standard, er formodentlig at ved slid øges afstanden ud over det ønskværdige.

## 4.2.2 Basisforbrug til påvisning af besparelse

Ud fra ovenstående analyser vælges de afrundede værdier ved den lave luftmængde. Disse værdier er valgt, idet den lave luftmængde ligger tæt på den nominelle luftmængde på en Optimill 900.

Skemaet herunder viser således referenceforbruget, som vil blive anvist til at påvise en besparelse ved udførsel af de påtænkte tiltag.

Specifikt forbrug til reference		
Slagleslid	Venstre [kWh/tons]	Højre [kWh/tons]
Nye	9,7	9,0
Halvslidt	10,1	8,6
Slidt	9,6	6,9
Gennemsnit	9,8	8,2

Ved eftermålingerne måles ved følgende parametre:

Luftmængde: 6.400 m<sup>3</sup>/h  
Belastningssetpunkt: 550 A

Der registreres specifikt forbrug til formaling samt kapacitet. Der udtages ikke sigteprofiler, da denne del betragtes som tilstrækkeligt belyst i ovenstående analyse.

Alle forsøg køres på samme recept som i ovenstående analyse. Dvs. So Profil Byg recept nr. 628631.

Der er valgt et belastningssetpunkt på 550 A, på trods af basismålingerne er lavet ved 400 A. Dette giver en afvigelse. Belastningssetpunktet på 550 er således den nominelle effekt på møllen, og vil være det normale.

Det var imidlertid ikke muligt, at lave basismålingerne om ved 550 A, da fødeapparatet blev skiftet umiddelbart efter forsøgene.

## 5. Energibalance

For forsøgene 1 - 6 er der opstillet energibalancer for møllen. I disse forsøg blev der kørt både venstre- og højrekørsel på slaglemøllen, og frekvensomformereren til ventilatoren var indstillet til hhv. 34, 38 og 42 Hz.

Forsøgene 1 - 6 er målt med nye slagler.

Målingerne som danner grundlag for energibalancerne er anført i nedenstående skema:

Forsøg nr.:	1	2	3	4	5	6
Højre/ venstre	Venstre	Venstre	Venstre	Højre	Højre	Højre
Frekvens luft:	34 Hz	38 Hz	42 Hz	34 Hz	38 Hz	42 Hz
<b>Temperaturer</b>						
Luft til møllen [t våd °C]	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8
Luft til møllen [t tør °C]	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
Luft efter filter/før ventilator [t våd °C]	18,1	20,9	19,1	18,5	20,9	19,0
Luft efter filter/før ventilator [t tør °C]	24,1	24,8	24,9	24,9	25,8	24,4
Luft efter ventilator [t våd °C]	20,8	21,7	20,1	19,8	19,6	20,6
Luft efter ventilator [t tør °C]	23,2	30,2	29,0	25,8	29,8	29,0
Materiale tilgang	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9
Materiale afgang	25,7	24,3	25,2	24,8	25,1	24,0
<b>Tryk</b>						
Pstat luft til mølle [Pa]	-340	-600	-760	-380	-560	-620
Pstat efter mølle/før filter [Pa]	-1348	-1600	-1900	-1377	-1610	-1850
Pstat efter filter [Pa]	-1738	-2057	-2407	-1810	-2150	-2400
Pstat før ventilator [Pa]	-2200	-2500	-3147	-2050	-2600	-2750
Pstat efter ventilator [Pa]	422	670	760	437	580	390
<b>Luftmængde</b>						
Pdyn [Pa]	112,6	152,7	165,3	111,0	133,2	175,4
Hastighed [m/s]	13,7	16,1	16,6	13,6	14,9	17,1
<b>Motor</b>						
Start charge	10:35:58	10:57:20	11:29:10	12:10:30	12:53:40	13:07:10
Slut charge	10:43:00	11:04:00	11:36:00	12:17:00	13:00:20	13:13:50
Energi til mølle [kWh]	22,2	22,2	21,75	20,65	21,58	20,96
Effekttag ventilator [kW]	6,7	9,0	12,4	6,4	9,0	12,3
Aflæst frekvensomformer [mA]	8,1	10,4	11,9	7,5	-	13,2

Målingerne af lufttemperaturerne  $t_{\text{våd}}$  og  $t_{\text{tør}}$ , før møllen og efter filter/før ventilator viser, at luftens indhold af vanddamp er stigende ved passage gennem møllen.

Dette skyldes vandfordampning fra råvarerne, hvorfor denne fordampning er medtaget i energibalancen. Energibalancerne er beregnet i skemaet på næste side.

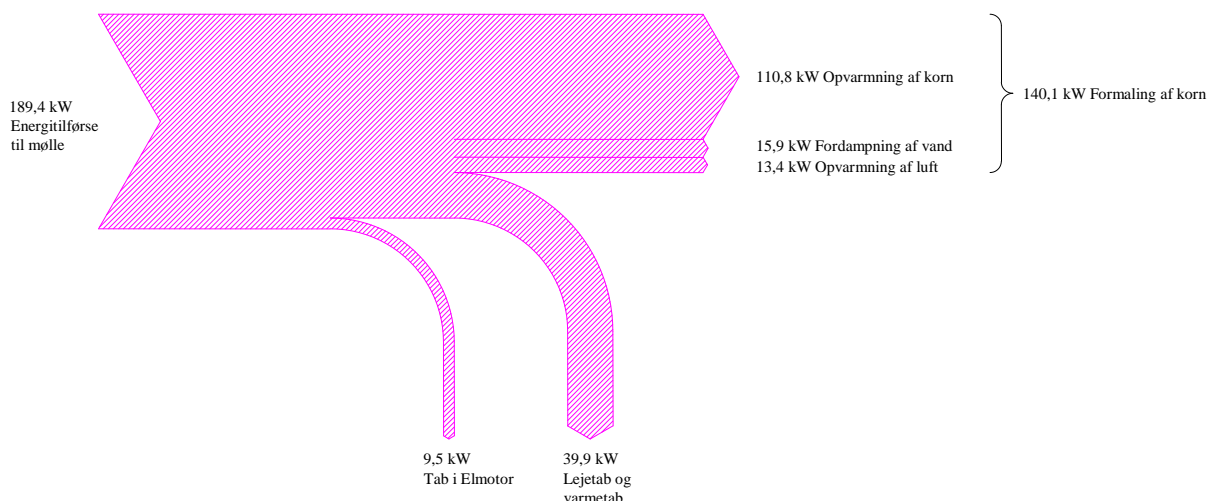


Forsøg nr.:	1	2	3	4	5	6
Højre/ venstre	Venstre	Venstre	Venstre	Højre	Højre	Højre
Frekvens luft:	34 Hz	38 Hz	42 Hz	34 Hz	38 Hz	42 Hz
<b>Tider og produktion</b>						
Produktion [kg/charge]	2.286	2.286	2.286	2.286	2.286	2.286
Produktionstid [h:m:s]	0:07:02	0:06:40	0:06:50	0:06:30	0:06:40	0:06:40
Produktionstid [s]	422	400	410	390	400	400
Produktion [kg/s]	5,42	5,72	5,58	5,86	5,72	5,72
Produktion [ton/h]	19,50	20,57	20,07	21,10	20,57	20,57
<b>Forudsætninger</b>						
Specifik varmeyfælde, korn [kJ/kgK]	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Specifik varmeyfælde, luft [kJ/kgK]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Densitet, luft [kg/m <sup>3</sup> ]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Fordampningsvarme, vand [kJ/kg]	2.258	2.258	2.258	2.258	2.258	2.258
<b>Optagne el-effekter og elforbrug</b>						
Mølle [kWh/charge]	22,2	22,2	21,8	20,7	21,6	21,0
Mølle [kW]	189,4	199,8	191,0	190,6	194,2	188,6
Ventilator [kWh/charge]	0,8	1,0	1,4	0,7	1,0	1,4
Ventilator [kW]	6,7	9,0	12,4	6,4	9,0	12,3
<b>Temperaturstigninger</b>						
Materiale over mølle [K]	12,8	11,4	12,3	11,9	12,2	11,1
Luft over mølle [K, tør]	6,5	7,2	7,3	7,3	8,2	6,8
Luft over ventilator [K, tør]	0,0	5,4	4,1	0,9	4,0	4,6
<b>Luft</b>						
Luftmængde [m <sup>3</sup> /s]	1,7	2,0	2,1	1,7	1,9	2,1
Luftmængde [kg/s]	2,1	2,4	2,5	2,1	2,2	2,6
Fugtindhold før mølle [g/kg]	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Fugtindhold efter mølle [g/kg]	13,3	15,8	14,3	13,6	15,8	14,0
Optagen fugt i luft [g/s]	7,0	14,3	11,0	7,6	13,3	10,6
P <sub>dyn</sub> i målekanal [Pa]	113	153	165	111	133	175
Tryktab over mølle [Pa]	1.008	1.000	1.140	997	1.050	1.230
Tryktab over filter [Pa]	390	457	507	433	540	550
Tryktab over overgang til ventilator [Pa]	462	443	740	240	450	350
Trykstigning over ventilator, P <sub>stat</sub> [Pa]	2.622	3.170	3.907	2.487	3.180	3.140
Trykstigning over ventilator, P <sub>tot</sub> [Pa]	2.735	3.323	4.072	2.598	3.313	3.315
<b>Energiltilførsel til mølle</b>						
Tilført effekt til mølle [kW]	189,4	199,8	191,0	190,6	194,2	188,6
Tab i elmotor, ca. 5% [kW]	9,5	10,0	9,5	9,5	9,7	9,4
<b>Netto tilførsel på aksel [kW]</b>	<b>179,9</b>	<b>189,8</b>	<b>181,4</b>	<b>181,1</b>	<b>184,5</b>	<b>179,2</b>
<b>Energifraførsler via mølle</b>						
Opvarmning af korn [kW]	110,8	104,0	109,5	111,4	111,4	101,3
Opvarmning af luft [kW]	13,4	17,5	18,3	15,0	18,4	17,5
Fordampning af vand fra korn [kW]	15,9	32,3	24,9	17,1	29,9	23,9
Kompression af luft [kW] ~	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Leje- og varmetab [kW]	39,9	35,9	28,7	37,6	24,8	36,5
<b>Netto fraførsel via mølle [kW]</b>	<b>179,9</b>	<b>189,8</b>	<b>181,4</b>	<b>181,1</b>	<b>184,5</b>	<b>179,2</b>
<b>Energiltilførsel til ventilator</b>						
Tilført effekt til ventilator [kW]	6,7	9,0	12,4	6,4	9,0	12,3
Tab i frekvensomformer, ca. 3% [kW]	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Tab i elmotor, ca. 4% [kW]	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5
Tab i remtræk, ca. 5% [kW]	0,3	0,4	0,6	0,3	0,4	0,6
<b>Netto tilførsel på aksel [kW]</b>	<b>5,9</b>	<b>8,0</b>	<b>11,0</b>	<b>5,7</b>	<b>8,0</b>	<b>10,9</b>
<b>Energifraførsler via ventilator</b>						
Transport af luft	4,7	6,7	8,5	4,4	6,2	7,1
Tab i ventilator	1,2	1,2	2,5	1,2	1,8	3,8
<b>Netto fraførsel via ventilator [kW]</b>	<b>5,9</b>	<b>8,0</b>	<b>11,0</b>	<b>5,7</b>	<b>8,0</b>	<b>10,9</b>
<b>Virkningsgrad for ventilator</b>						
Totalvirkningsgrad incl. motor mv [%]	70,3	74,7	68,5	69,4	68,9	57,9
Virkningsgrad for ventilator alene [%]	79,4	84,4	77,4	78,4	77,9	65,5

Tendensen i de 6 energibalancer er ens, hvor der gennemsnitligt er ca. 5 % tab i elmotoren, 8 % går til fordampning af vand, 7 % er til opvarmning af luften og 59 % går til opvarmning af kornet.

De resterende ca. 21 % går til lejetab og varmetab til omgivelser.

For forsøg 1 er der opstillet et sankey diagram, som visuelt illustrerer denne energifordeling:



Som det fremgår af Sankey diagrammet, ender størstedelen af energien som varme i melet og luften. Det skyldes, at den tilførte energi bliver til varme ved findeling af råvarerne.

Virkningsgraden på formalingsprocessen bliver:

$$(110,8 + 15,9 + 13,4) \text{ kW} / 189,4 \text{ kW} \cdot 100 \% = 74 \%$$

Det ses, at energien til fordampning af vand er medtaget. Vandfordampningen er ikke en del af formalingsprocessen men optager en del af den udviklede varme. Derfor skal denne energimængde medtages.

Fordampningen af vand i formalingsprocessen kan også udledes af tabelværdierne fra målingerne. Herunder ses værdierne for forsøg 1:

Produktions flow:	5,42 kg/s
Optagen fugt i luft:	0,007 kg/s

Procentuel vandfordampning:  $0,007 \text{ kg/s} / 5,42 \text{ kg/s} \cdot 100 \% = 0,12 \%$

Gennem de 6 målinger er en gennemsnitlig opvarmning på 12 °C. Råvareblandingen består primært af byg, men indeholder desuden 7 % hvede, og 3 % havre samt lidt raps.

Der har tidligere været teorier om relativ høj vandfordampning i forbindelse med formalingsprocessen. Disse teorier kan ikke bekræftes af nærværende forsøg.

Dansk Svineproduktion, Axeltorv i København, har tidligere undersøgt opvarmningen af materiale ved formaling. Deres opgørelser for formaling af byg og hvede er anført i efterfølgende tabel, og ligger på niveau med vore målinger.

Temperaturstigning i **byg** i forbindelse med formaling eller valsning, [°C]

Formalingsudstyr	Vandprocent på 14	Vandprocent på 18	Vandprocent på 22
Traditionel hammermølle	13	14	15
Radial hammermølle	26	30	32
Valse	6	7	8
Stålpladekværn	14	16	20

Temperaturstigning i **hvede** i forbindelse med formaling eller valsning, [°C]

Formalingsudstyr	Vandprocent på 14	Vandprocent på 18	Vandprocent på 22
Traditionel hammermølle	11	11	9
Radial hammermølle	16	18	17
Valse	5	6	7
Stålpladekværn	14	14	15

Figur 1: Temperaturstigning ved formaling af korn. Kilde: Dansk Svineproduktion, www.infosvin.dk

Ifølge Dansk Svineproduktion, findes der formalingsmetoder, som medfører mindre opvarmning af materialet end en hammermølle (slaglemølle), jvf. tabellen.

Det er valsemøllen, som opvarmer materialet væsentligt mindre. Det specifikke forbrug til valsemøllen ligger typisk på 3 kWh/tons mod slaglemøllens 7 - 10 kWh/tons.

Der er således en klar sammenhæng mellem specifikt forbrug til formalingen og opvarmningen af materialet. I 1990'erne var der tilskud til de energibesparende valsemøller, som typisk var Roskamp møller med 3 valesæt og Matador RM 1200 møller også med 3 valesæt.

Det viste sig imidlertid hurtigt, at valsemøllerne ikke kunne erstatte slaglemøllerne. Det skyldtes en helt anden struktur og størrelse på de formalede partikler fra hhv. valse- og slaglemøllen.

Partiklerne fra en valsemølle har typisk langt mindre overflade og dermed evne til at optage damp, vitaminer mv.

I dag er det typisk endt med, at 80 % af en recept kører over slaglemøllen, mens omkring 20 % af kornet kører over valsemøllen eller en opriver. Andelen over valsemøllen begrundes mest i ønsket om en grovere struktur end reduceret specifikt forbrug.

På trods af den øgede opvarmning ved formaling på en traditionel slaglemølle vurderes det ikke, at der kan opnås samme formalingsgrad og struktur ved lavere energitilsætning.

## 6. Forsøg med dobbeltformaling

I projektforsøget blev det diskuteret, om der var mulighed for eliminering af forskellen i specifikt forbrug afhængigt af omløbsretningen ved hjælp af dobbeltformaling.

Følgende var målet:

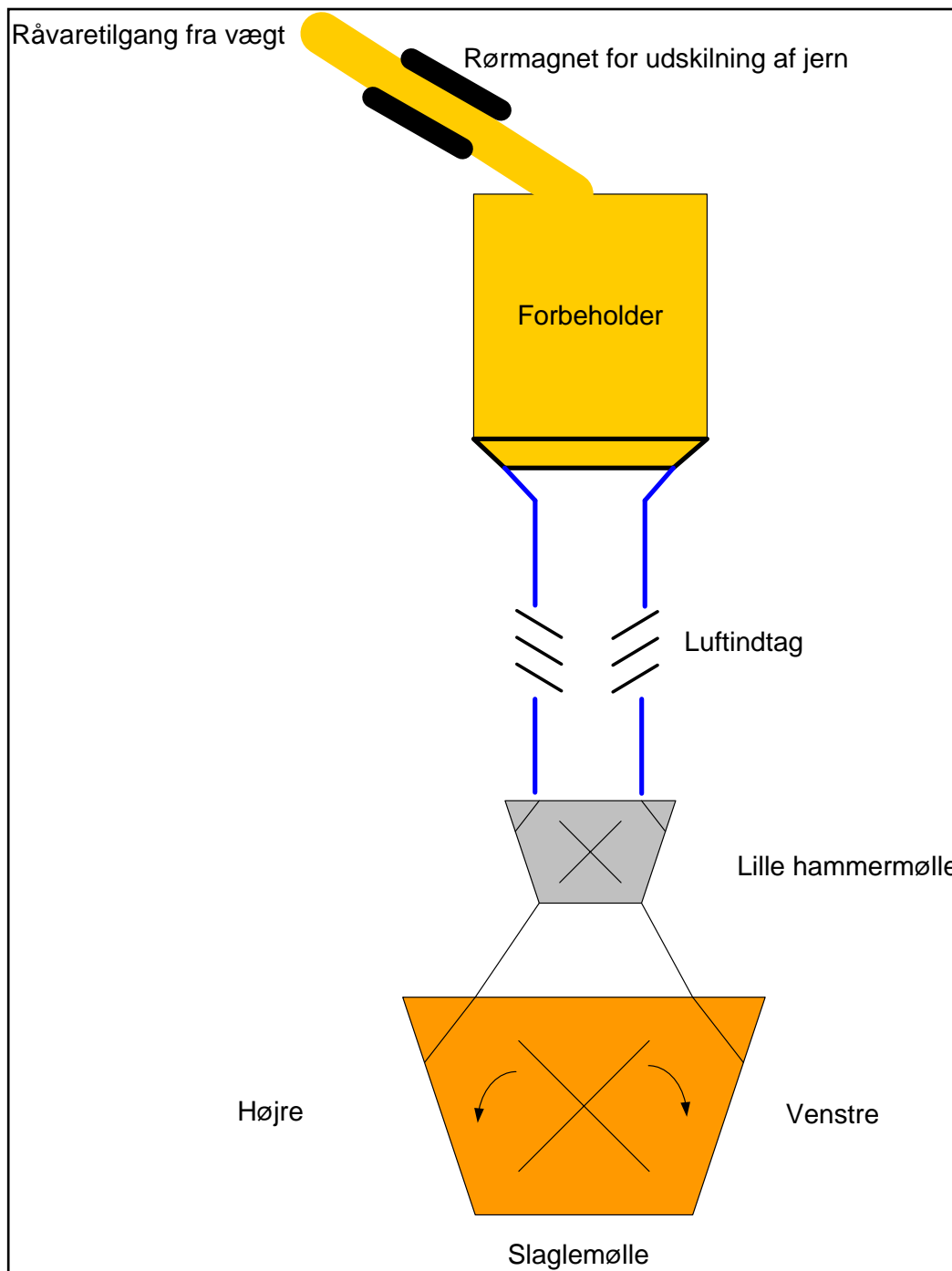
- øget kapacitet med op til 40 % på slaglemøllen
- reducere det samlede specifikke forbrug til 5 - 6 kWh/tons
- eliminering af forskellen i specifikt forbrug som funktion af omløb

Ideen var, at knække den hårde skal på kornet inden selve slaglemøllen.

Hermed ville slaglemøllen få en langt mere homogen masse at formale.

For-møllen kunne være med forskellige formalingsprincipper. Valget ville blive ud fra forsøgsopstillinger.

Der blev skitseret en række modeller for opbygningen af anlægget. Følgende blev udvalgt:



Det ses, at der ikke længere er nogen stensluse.

Stenene skal således formales over møllen. Metalgenstande udtages inden forbeholderen. Der indtages luft over den nye mølle.

Der blev taget kontakt til EUROmilling, som er leverandør af møller til forskellige industriformål. Der blev formuleret følgende succeskriterier:

Specifikt forbrug mellem 1,0 og 1,5 kWh/tons  
Kapacitet på ca. 50 tons/time under formaling

Herefter blev der konstrueret en ny lille forsøgsmølle og kørt forsøg på virksamheden i en forsøgsopstilling. Herunder ses arrangementet:

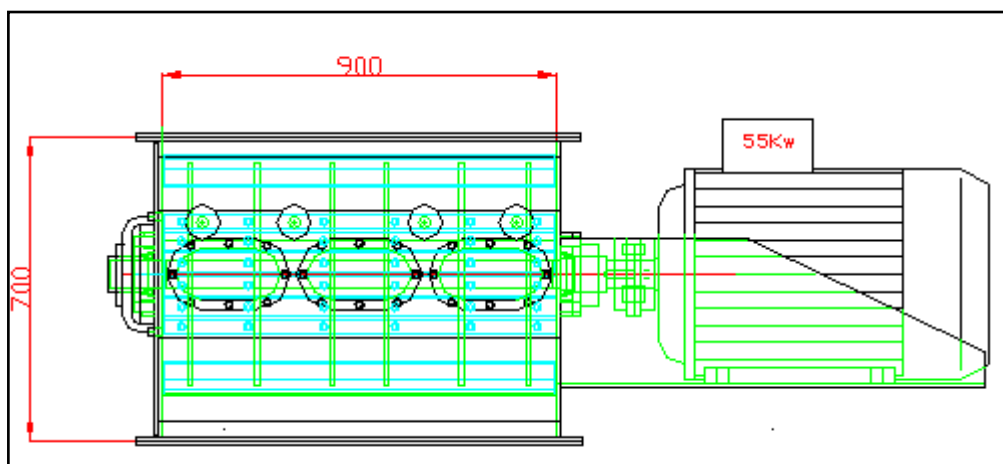


Den ny mølle ses med blå motor anden øverst oppe. Øverst sidder fødeapparatet.

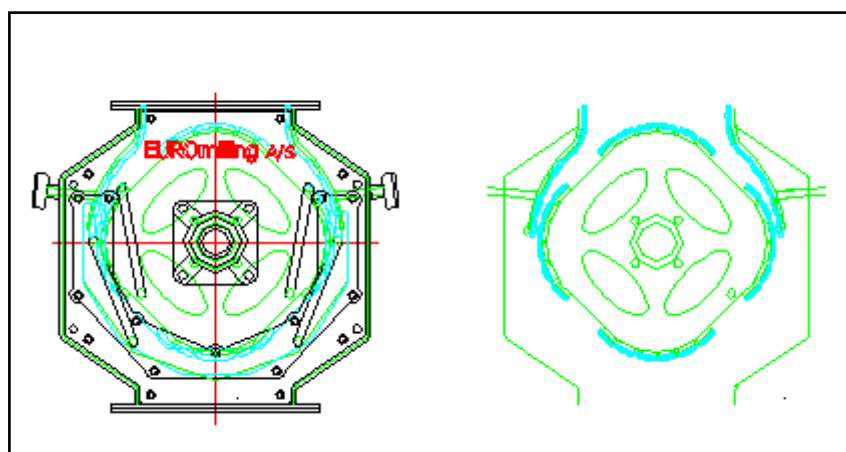
Der blev opfyldt manuelt i tragten.

Den viste mølle var opbygget med en trådsold. Det viste sig, at den ikke kunne holde kapacitet og specifikt forbrug på et tilfredsstillende niveau.

Fra EUROmilling blev der herefter tegnet en ny mølle, som fungerer med fast rotor og malebroer. Herunder ses konstruktionen fra siden:



Set fra enden:



Princippet er en fast rotor, som knuser/formaler op mod malebroer. Der er ingen sold. Ovenstående mølle vil muligvis kunne opfylde de opstillede succeskriterier.

Der var imidlertid relativt høje omkostninger forbundet med at lave full scale forsøg med dobbeltformalingen. Da det ikke var med i de oprindelige budgetter, kunne budgettet ikke bære disse omkostninger.

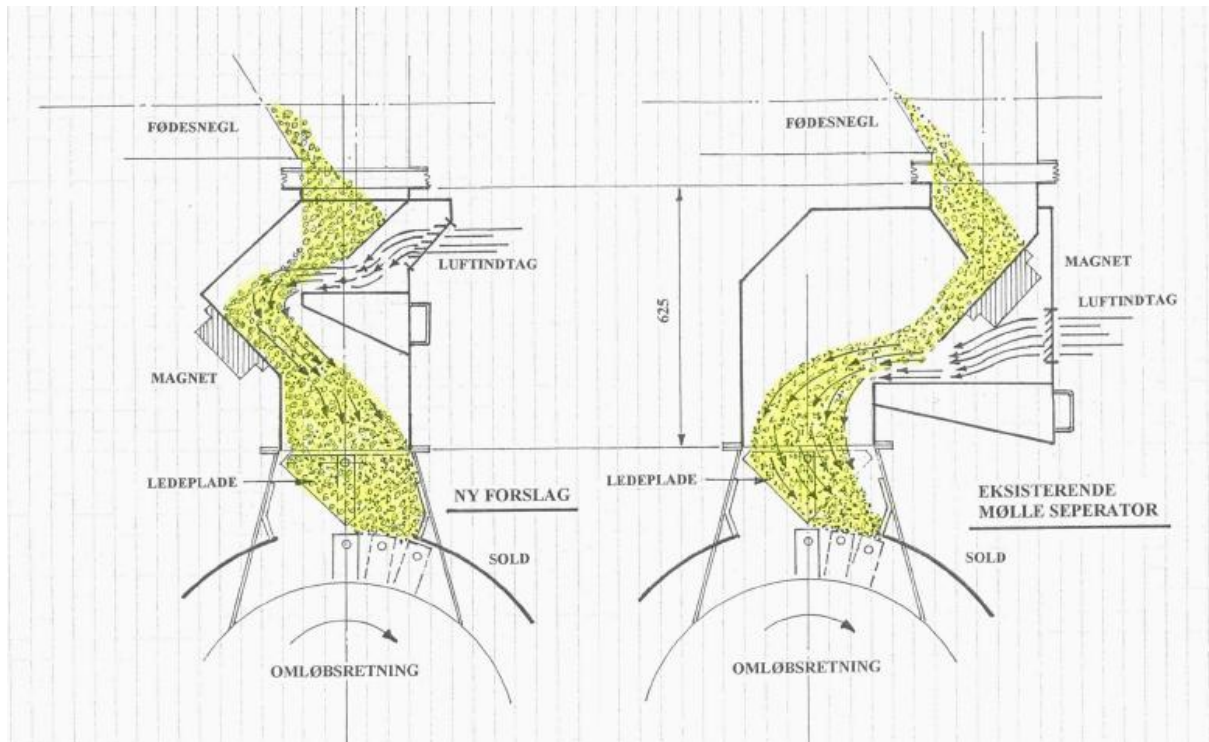
Samtidig var tiden for fremskreden til, at der ville kunne laves forsøgskørsler inden for projektperioden.

Denne udløber af projektet blev derfor stillet i bero inden for dette projekts rammer.

Der overvejes dog fortsat på at fortsætte på kommerciel basis alternativt søge nye puljemidler. Der er således ingen tvivl om, der er gode muligheder i dobbeltformaling.

## 7. Konstruktion af nyt fødeapparat

Efter påvisning af væsentlige forskelle i det specifikke forbrug ved højre- og venstrekørsel med møllen blev der tegnet et nyt fødeapparat. Herunder ses en skitse over apparatet:



Ideen i den ændrede konstruktion var at mindske det skadelige rum ved indløbet til møllen.

Samtidig fik varestrømmen en mere ret vinkel ned i møllen. Dvs. retningen på råvarerne blev ændret, og vinklen mellem slagler og råvarer blev dermed også ændret.

Det var forventningen, at en ret vinkel ville give ensartet vinkel til slaglerne uanset omløbsretningen.

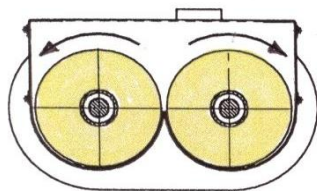
Dermed ville problemet med forskel i kapacitet og specifikt forbrug være løst.

Fødeapparatet blev desuden konstrueret, så det umiddelbart kunne monteres i stedet for det traditionelle fødeapparat.

Endelig blev omløbsretningen på fødesneglen ændret, så skruerne spreder ud af i stedet for at centrere fødingen.



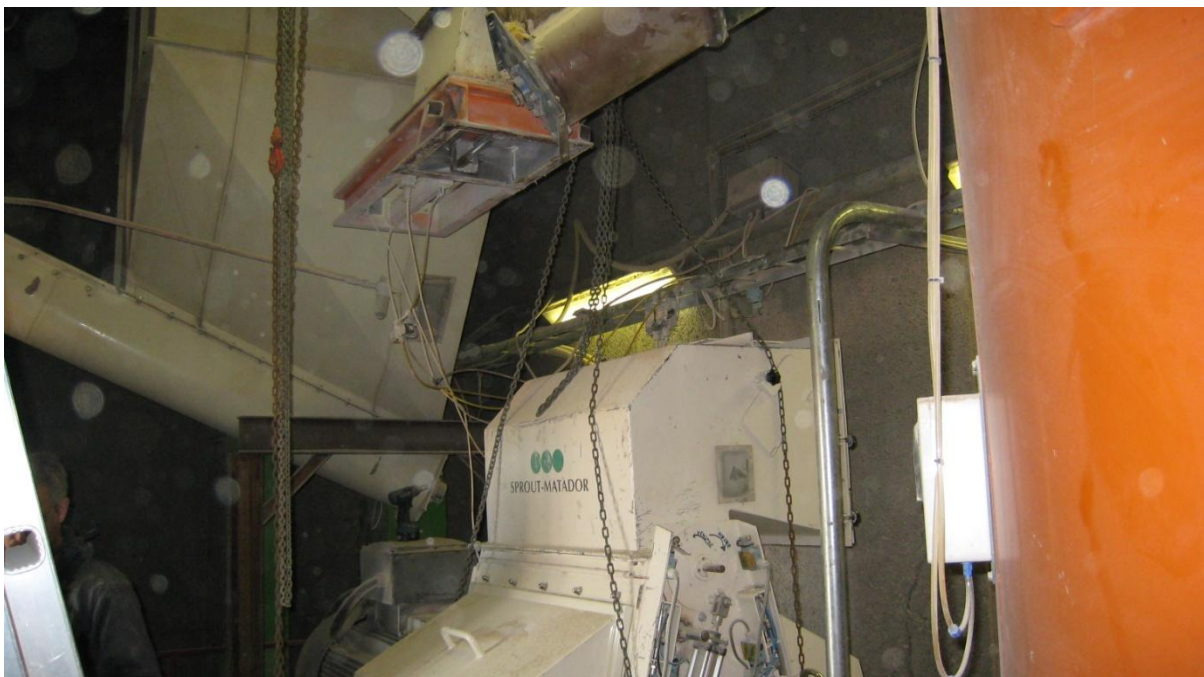
Figuren herunder viser retningen på skrueerne:



Sneglens omdrejningsretning set fra udløbsenden.

Som det ses, vil der opnås en bedre fordeling over soldets bredde på de 900 mm, end hvis de kørte mod hinanden som normalt.

Herunder ses et billede af en mølle med traditionel fødekasse:



Selve fødeapparatet er kassen, hvor der står "Sprout-Matador". Boltene under navnet indikerer overgangen til møllen.

Luften tages ind til højre i billedet.

Herunder ses det nye fødeapparat:



Det ses, at det nye fødeapparat er opbygget med samme dimensioner som det traditionelle. Det er imidlertid mere smalt, hvilket giver den lige varestrøm ned i møllen.

Bredden er reduceret fra 900 mm til 700 mm.

## 8. Drift med nyt fødeapparat

Umiddelbart efter opsætning af det nye fødeapparat blev der lavet nye målinger. Efter analyserne i den grundlæggende del af projektet blev der anvendt følgende parametre:

Recept 628631:	So profil Byg
Udvejet til mølle:	2.286 kg
Belastningssetpunkt:	550 A
Luftmængde:	6.500 m <sup>3</sup> /h

I den første forsøgsrække blev der kørt forsøg med 0 timer og hhv. 119 timer til højre og 200 timer til venstre.

Det høje slagleslid i timer var valgt for at forsøge at få samme slagleslid som ved de grundlæggende forsøg. Slaglerne var dog slidt alt for meget, og der blev lavet nye forsøg med 80 timer slagler som slidte.

Driftstimerne for slaglerne defineres herefter til:

Nye:	0 timer
Halvslide:	40 timer
Helslide:	80 timer

I de første forsøg har slaglerne således kørt for lang tid, og var slidt for meget til at få valide resultater.

### 8.1 Forsøg med nyt fødeapparat og nyt korn

Efter opsætning af det nye fødeapparat var den nye høst i hus. Dvs. forsøgene kørte på nyt korn.

Det har betydning, idet nyt korn er mere sejt end lagret korn. Vandindholdet har desuden en vis betydning.

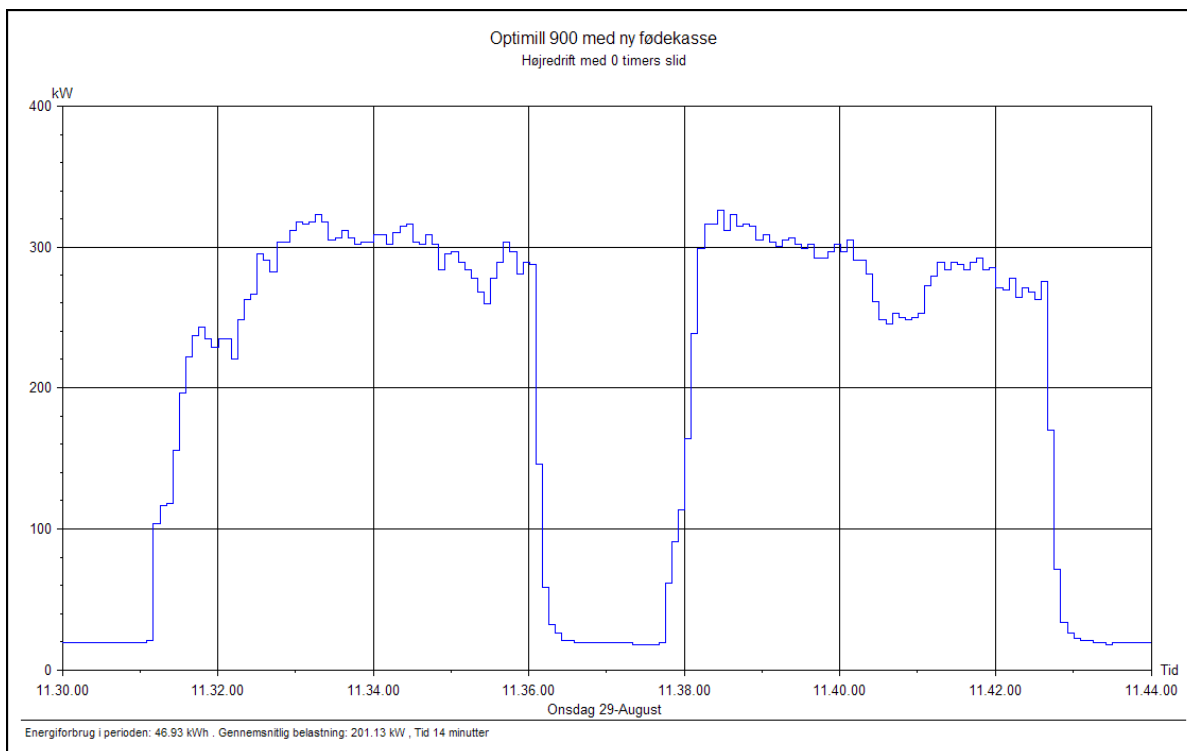
Der blev lavet 3 forsøg. Herunder ses datafangsten med efterfølgende dataanalyse.

## 8.1.1 Datafangst

Der blev foretaget målinger ved de 3 forskellige slagleslid.

### 8.1.1.1 Målinger ved nye slagler

Herunder ses driften med nye slagler og ved højredrift:

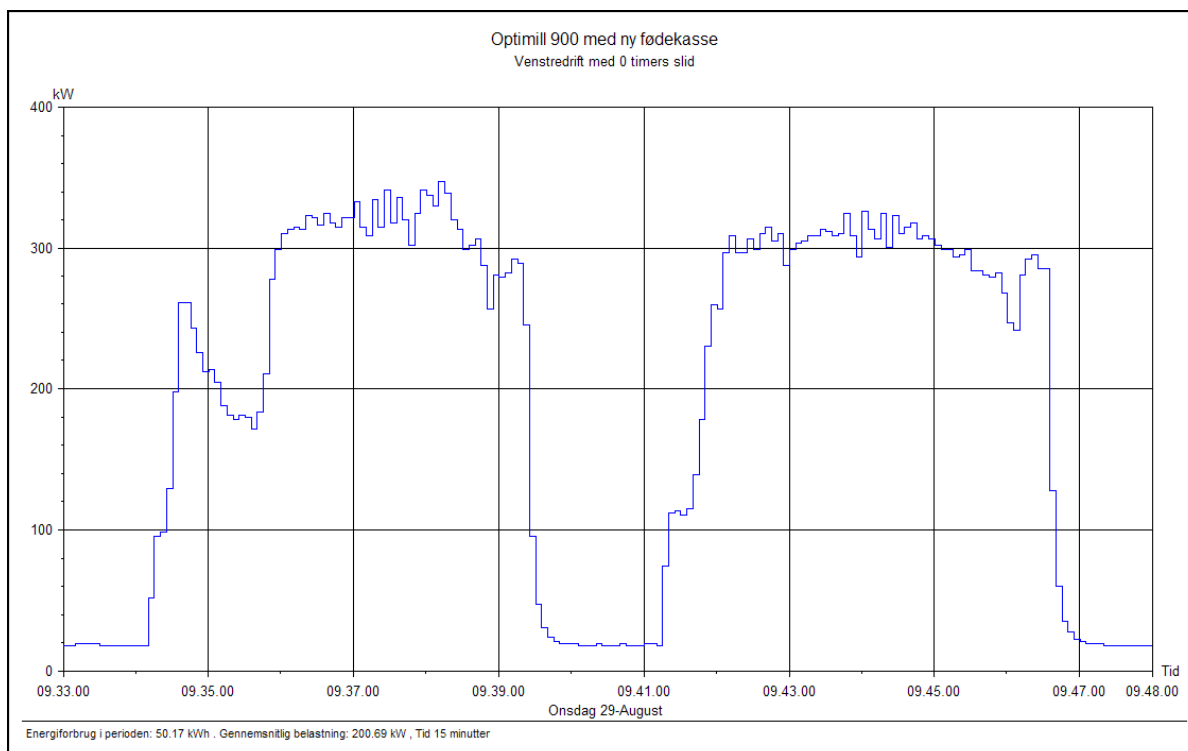


Data for sidste charge er:

Chargetid: 330 sek.  
Energiforbrug i perioden: 23,0 kWh

Specifikt forbrug:  $23,0 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 10,1 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 330 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 24,9 \text{ tons/time}$

Herunder ses driften med nye slagler til venstre:



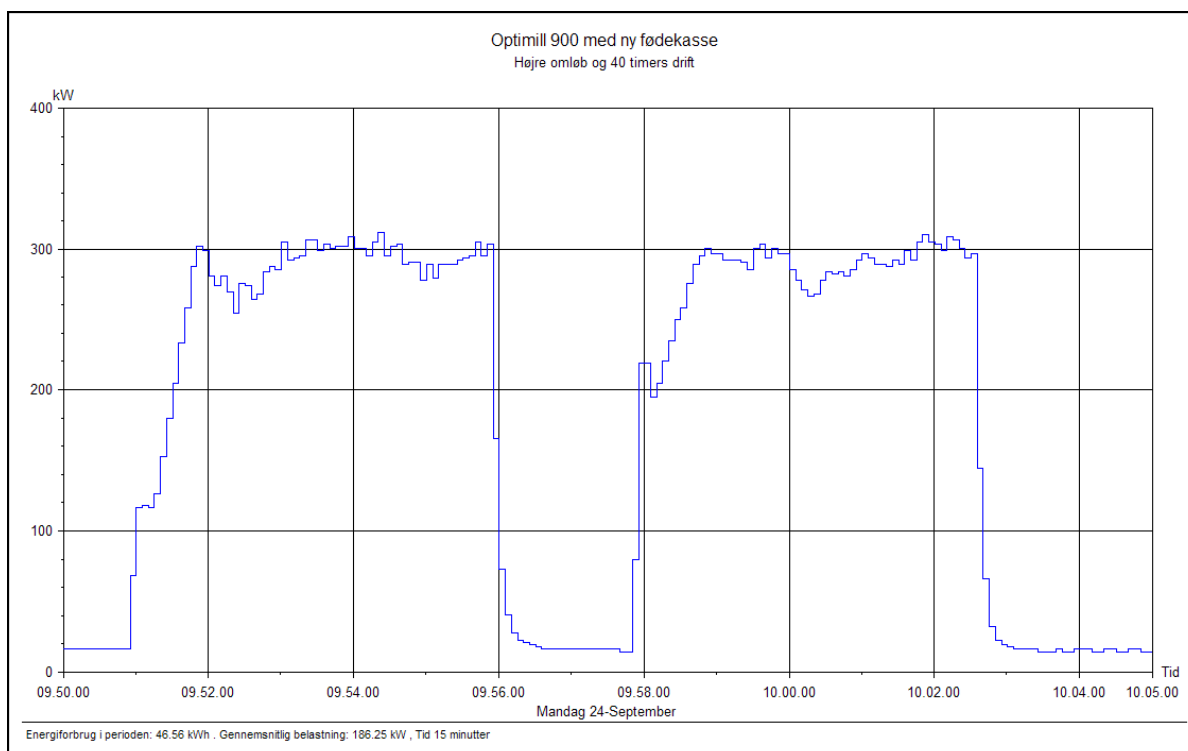
Dataene for sidste charge er:

Chargetid: 360 sek.  
Energiforbrug i perioden: 25,2 kWh

Specifikt forbrug:  $25,2 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 11,0 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 360 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 22,9 \text{ tons/time}$

### 8.1.1.2 Målinger ved 40 timers slagler

Herunder ses målingerne ved 40 timers slagleslid og højredrift:



Herunder ses data for første charge:

Chargetid: 350 sek.  
Energiforbrug i perioden: 23,0 kWh

Specifikt forbrug:  $23,0 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 10,1 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 350 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 23,5 \text{ tons/time}$

Herunder ses data for anden charge:

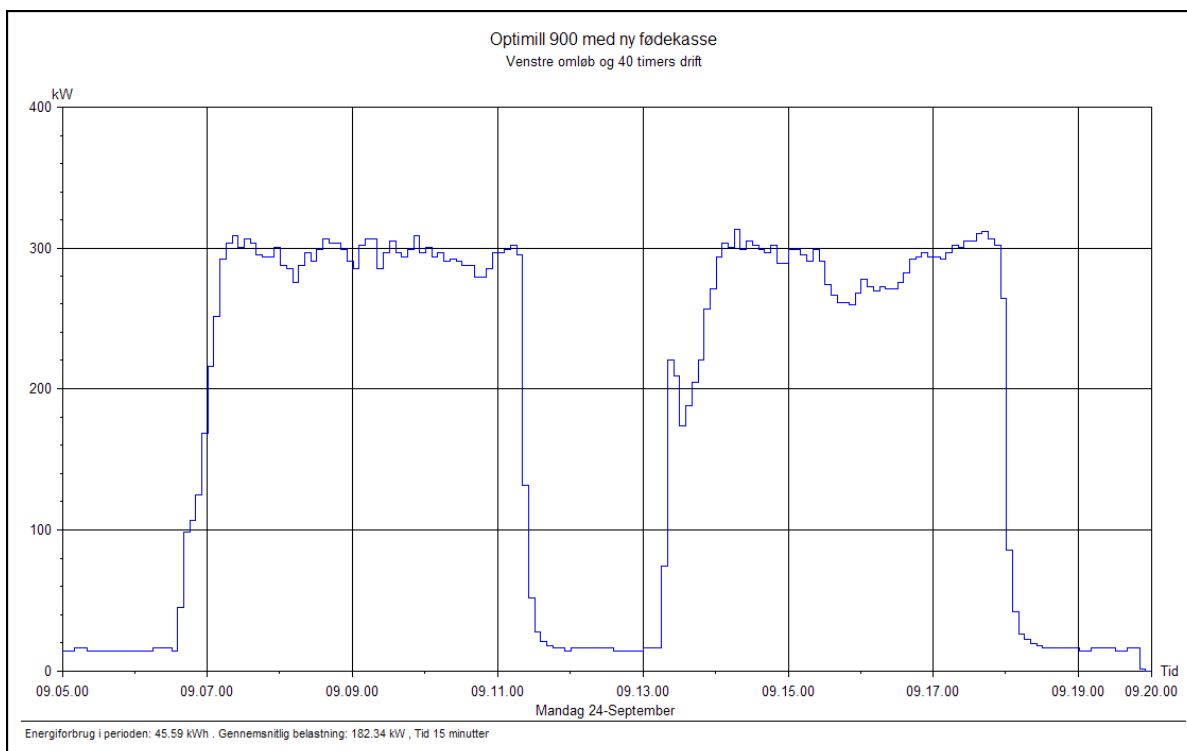
Chargetid: 320 sek.  
Energiforbrug i perioden: 22,5 kWh

Specifikt forbrug:  $22,5 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 9,8 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 320 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 25,7 \text{ tons/time}$

Kapaciteten steg lidt. Det skyldes, at den første charge var lidt længere tid om at slippe af med de sidste varer. Energiforbruget varierede lidt. Der anvendes gennemsnitsværdier:

Gns. specifikt forbrug:  $(10,1 + 9,8) / 2 = 10,0 \text{ kWh/tons}$   
Gns. kapacitet:  $(23,5 + 25,7) / 2 = 24,6 \text{ tons/time}$

Herunder ses driften ved venstre omløb og 40 timers drift:



Herunder ses data for den første charge:

Chargetid: 315 sek.  
Energiforbrug i perioden: 22,3 kWh

Specifikt forbrug:  $22,3 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 9,8 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 315 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 26,1 \text{ tons/time}$

Herunder ses den anden charge:

Chargetid: 325 sek.  
Energiforbrug i perioden: 22,2 kWh

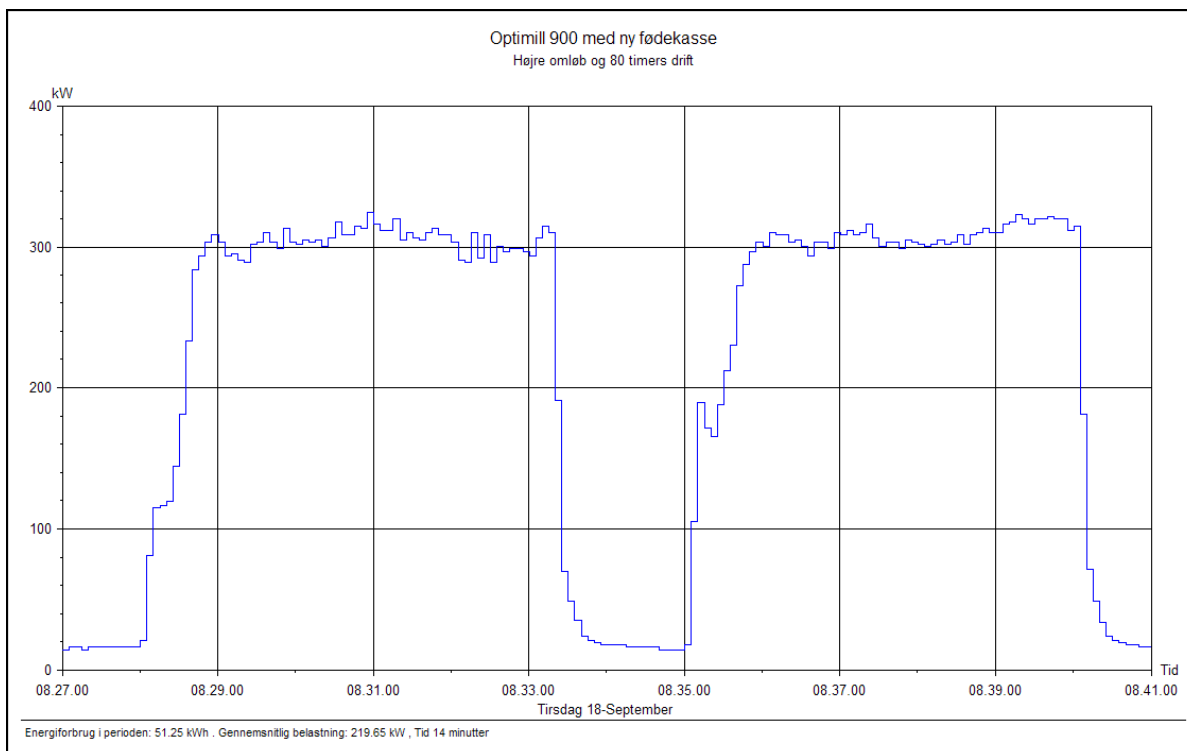
Specifikt forbrug:  $22,2 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 9,7 \text{ kWh/tons}$   
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 325 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 25,3 \text{ tons/time}$

Der ses en mindre variation i de 2 charge, hvilket er normalt. Der anvendes gennemsnitsværdier:

Gns. specifikt forbrug:  $(9,8 + 9,7) / 2 = 9,8 \text{ kWh/tons}$   
Gns. kapacitet:  $(26,1 + 25,3) / 2 = 25,7 \text{ tons/time}$

### 8.1.1.3 Drift med 80 timers slagler

Herunder ses målingerne ved 80 timers slagleslid og højredrift:



Der er følgende data for første charge:

Energiforbrug i perioden: 25,6 kWh  
Chargetid: 350 sek.

Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 350 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 23,5 \text{ tons/time}$   
Specifikt forbrug:  $25,6 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 11,2 \text{ kWh/tons}$

For den anden charge er data:

Energiforbrug i perioden: 25,0 kWh  
Chargetid: 345 sek.

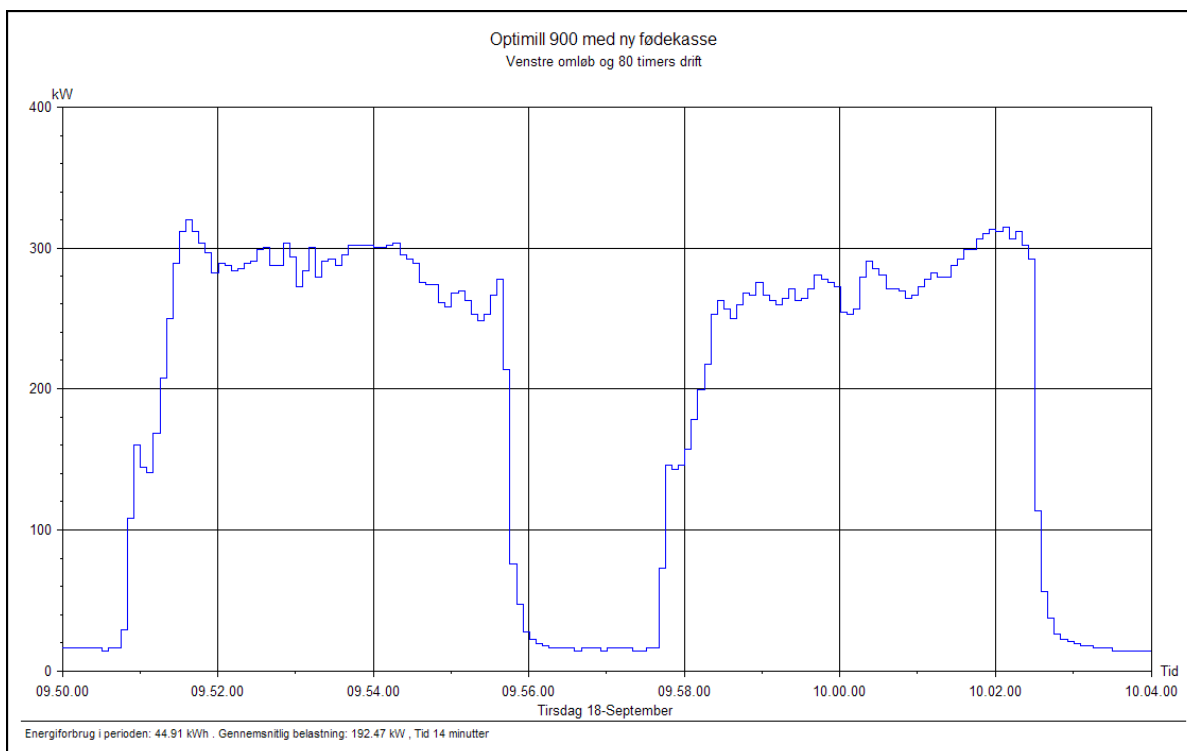
Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 345 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 23,9 \text{ tons/time}$   
Specifikt forbrug:  $25,0 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 10,9 \text{ kWh/tons}$

Der ses en mindre variation i de 2 charge, hvilket er normalt. Der anvendes gennemsnitsværdier:

Gns. specifikt forbrug:  $(11,2 + 10,9) / 2 = 11,1 \text{ kWh/tons}$   
Gns. kapacitet:  $(23,5 + 23,9) / 2 = 23,7 \text{ tons/time}$



Herunder ses målingerne ved 80 timers slagleslid og venstredrift:



Der er følgende data for første charge:

Energiforbrug i perioden: 22,6 kWh  
 Chargetid: 325 sek.

Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 325 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 25,3 \text{ tons/time}$   
 Specifikt forbrug:  $22,6 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 9,9 \text{ kWh/tons}$

For den anden charge er data:

Energiforbrug i perioden: 21,5 kWh  
 Chargetid: 325 sek.

Kapacitet:  $(2,286 \text{ tons} / 325 \text{ sek.}) \cdot 3.600 \text{ sek.} = 25,3 \text{ tons/time}$   
 Specifikt forbrug:  $21,5 \text{ kWh} / 2,286 \text{ tons} = 9,4 \text{ kWh/tons}$

Der ses en mindre variation i de 2 charge, hvilket er normalt. Der anvendes gennemsnitsværdier:

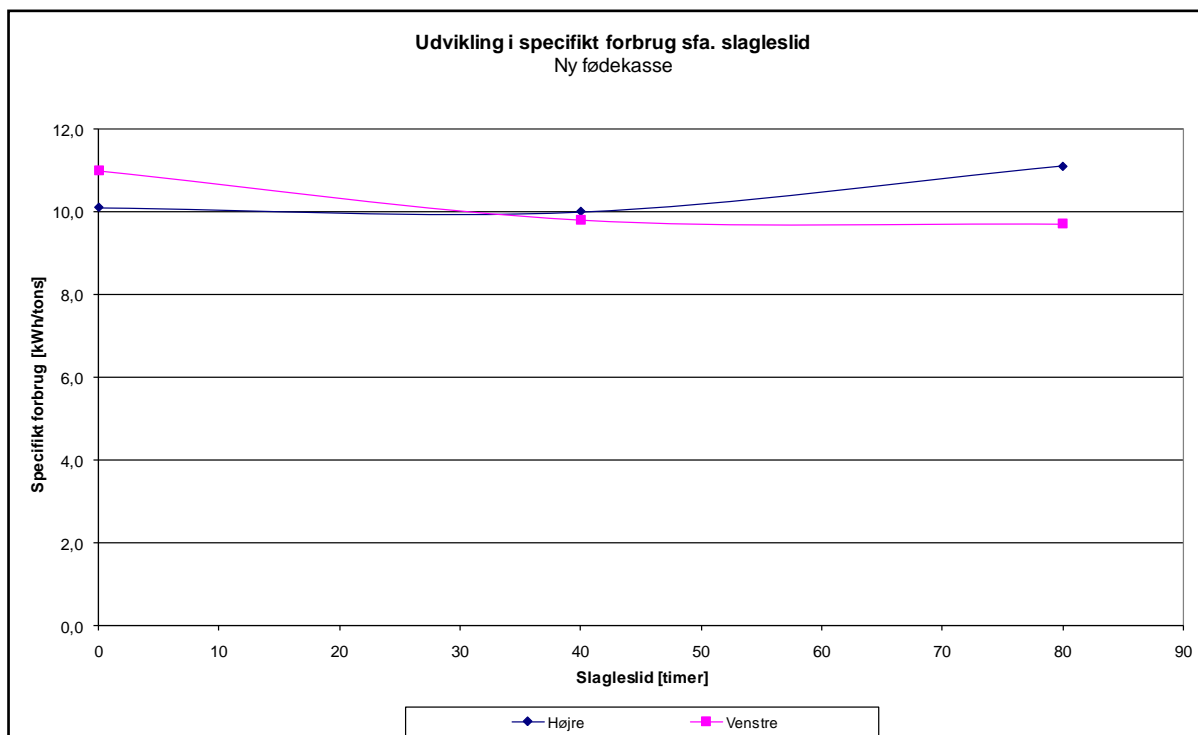
Gns. specifikt forbrug:  $(9,9 + 9,4) / 2 = 9,7 \text{ kWh/tons}$   
 Gns. kapacitet:  $(25,3 + 25,3) / 2 = 25,3 \text{ tons/time}$

## 8.1.2 Dataanalyse

Ud fra måledata kan der opstilles en dataoversigt:

<b>Konstruktion af ny fødekasse</b>							
Samlet analyse							
<u>Resultater ved venstredrift</u>							
Parameter		Eksisterende fødekasse			Ny fødekasse		
Dato		16/1-2007	25/1-2007	20/3-2007	29/8-2007	24/9-2007	18-09-2007
Slagleslid	[timer]	0	94	166	0	40	80
Luftmængde	[m <sup>3</sup> /h]	6.200	6.200	5.900	6.500	6.500	6.500
Belastningssetpunkt	[A]	400	400	400	550	550	550
Sigteprofil	[modulus]	3,28	3,62	3,14			
Kapacitet	[tons/time]	19,1	18,9	24,2	22,9	25,7	25,3
Specifikt forbrug	[kWh/tons]	9,7	10,1	9,6	11,0	9,8	9,7
<u>Resultater ved højredrift</u>							
Parameter		Eksisterende fødekasse			Ny fødekasse		
Dato		16/1-2007	25/1-2007	20/3-2007	29/8-2007	24/9-2007	18-09-2007
Slagleslid	[timer]	0	64	151	0	40	80
Luftmængde	[m <sup>3</sup> /h]	6.100	6.200	5.900	6.500	6.500	6.500
Belastningssetpunkt	[A]	400	400	400	550	550	550
Sigteprofil	[modulus]	3,26	3,58	3,17			
Kapacitet	[tons/time]	21,1	21,1	29,9	24,9	24,6	23,7
Specifikt forbrug	[kWh/tons]	9,0	8,6	6,9	10,1	10,0	11,1

Herunder ses kurven:



Det ses, at de 2 forbrug krydser hinanden.

Med lagret korn og traditionelt fødeapparat lå forbruget ved højrekørsel lavest gennem hele perioden. Forskellen var stigende med slaglesliddet.

Ved de nye målinger med det nye fødeapparat stiger forbruget til højrekørsel med stigende slid på slaglerne.

De gennemsnitlige forbrug udgør:

#### Venstre

Gennemsnitligt forbrug, traditionel:

9,8 kWh/tons

Gennemsnitligt forbrug, ny:

10,2 kWh/tons

#### Højre

Gennemsnitligt forbrug, traditionel:

8,2 kWh/tons

Gennemsnitligt forbrug, ny:

10,4 kWh/tons

Det ses, at forbruget er steget med det nye fødeapparat / de nye forsøg.

Det skyldes ny høst. Den højere belastning kan ligeledes have haft betydning for det øgede specifikke forbrug.

Det blev vurderet, at forsøgene ikke var repræsentative pga. kornet. Det blev besluttet, at gentage forsøgsrækken med lagret korn sidst på året.

## 8.2 Forsøg med nyt fødeapparat og lagret korn

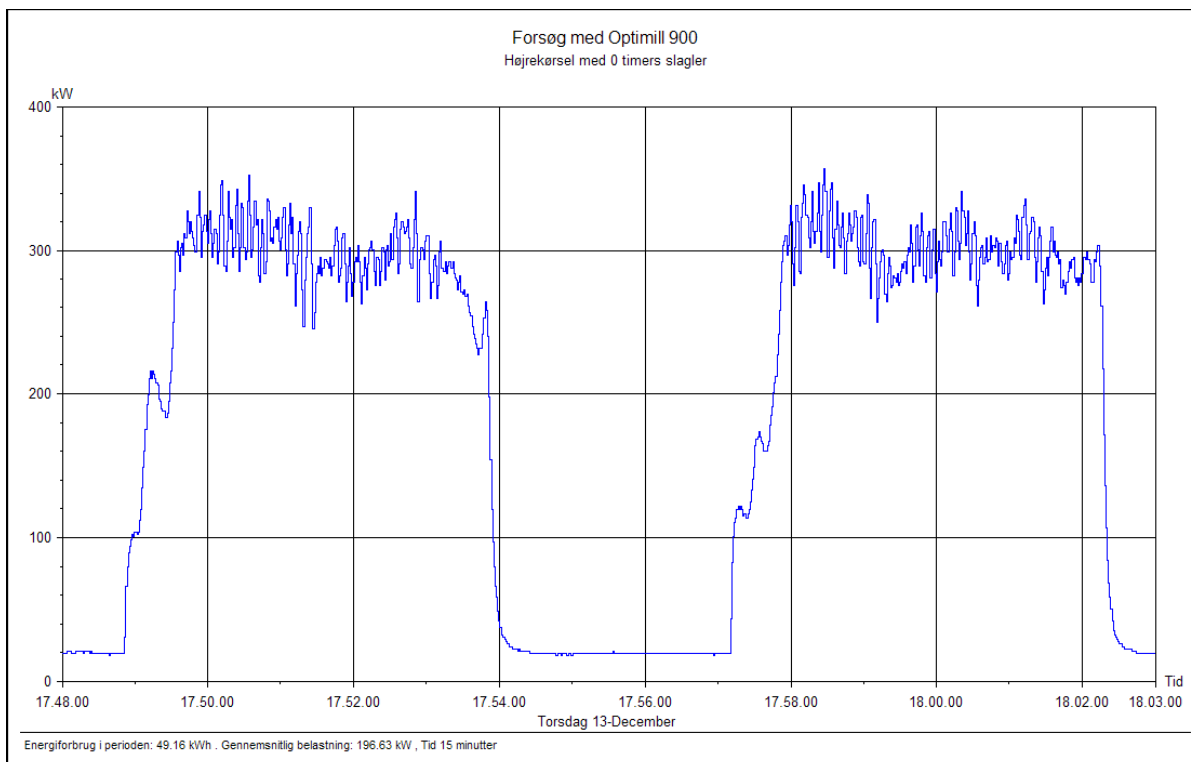
Der blev efterfølgende lavet 3 forsøg med lagret korn som for basismålingen. Herunder ses datafangsten med efterfølgende dataanalyse.

### 8.2.1 Datafangst

Der blev igen foretaget målinger ved de 3 forskellige slagleslid. Målingerne er foretaget på tilsvarende vis som ved nyt korn. I dette afsnit fokuseres derfor på møllens drift ved ens slidte slagler ved hver omløbsretning.

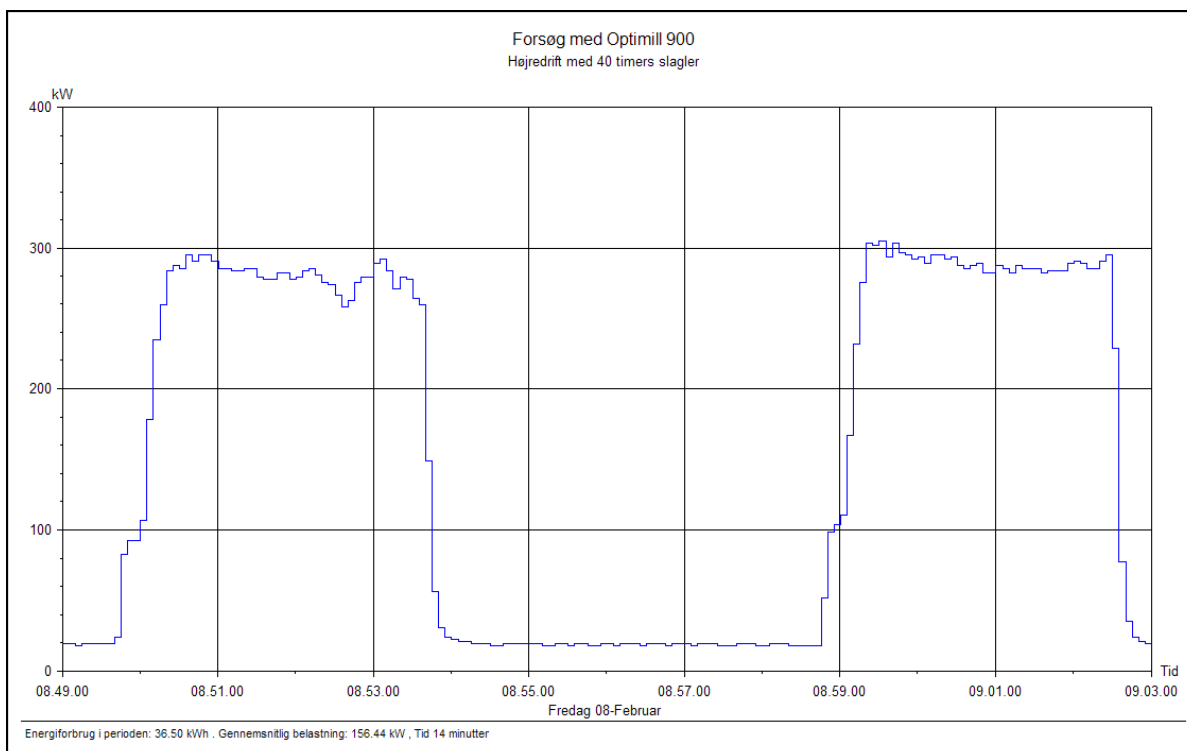
#### 8.2.1.1 Målinger ved højre omløb

Herunder ses driften med nye slagler og ved højredrift:

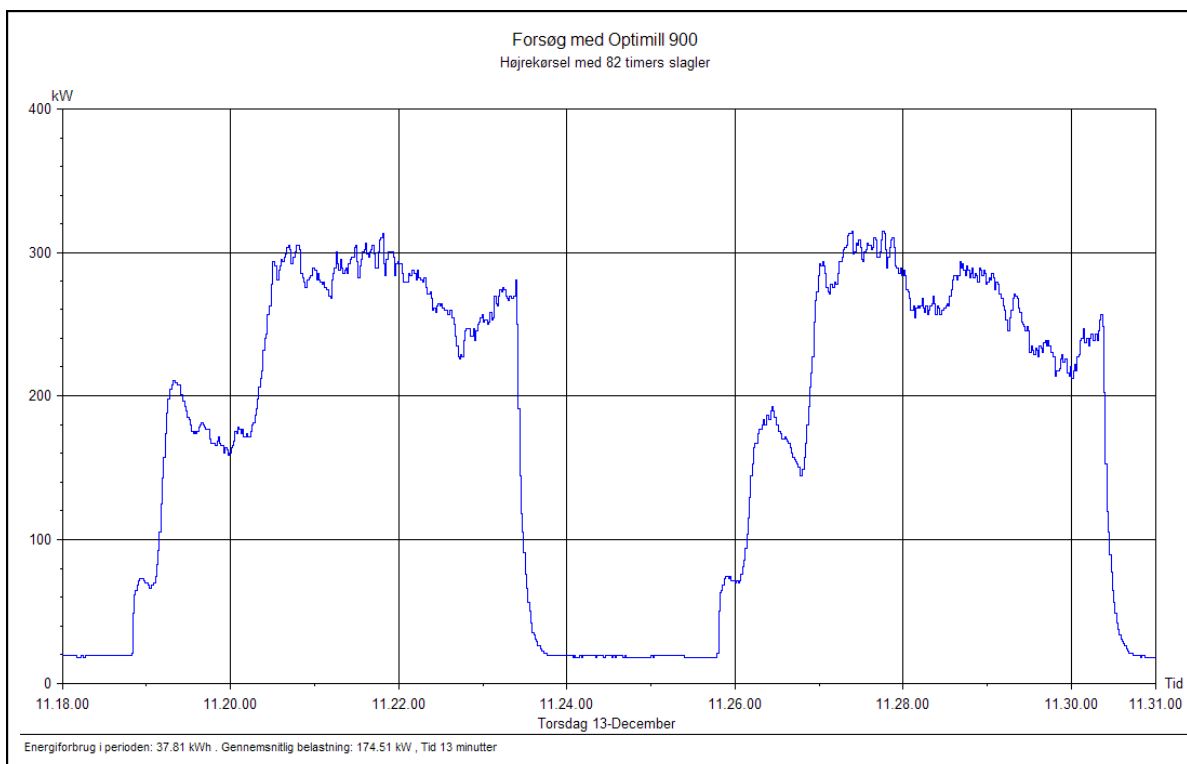


Det ses, at møllen kører ustabil pga. de helt nye slagler. Den ligesom hakker i det.

Herunder ses driften med 40 timers slagler til højre:



Herunder ses driften med 80 timers slagler til højre:



Ved de slide slagler kører møllen igen lidt ustabil.

Ved nye slagler ligger energiforbruget højt, og kapaciteten relativt lavt. Effektoptaget ligger over 300 kW en del af tiden.

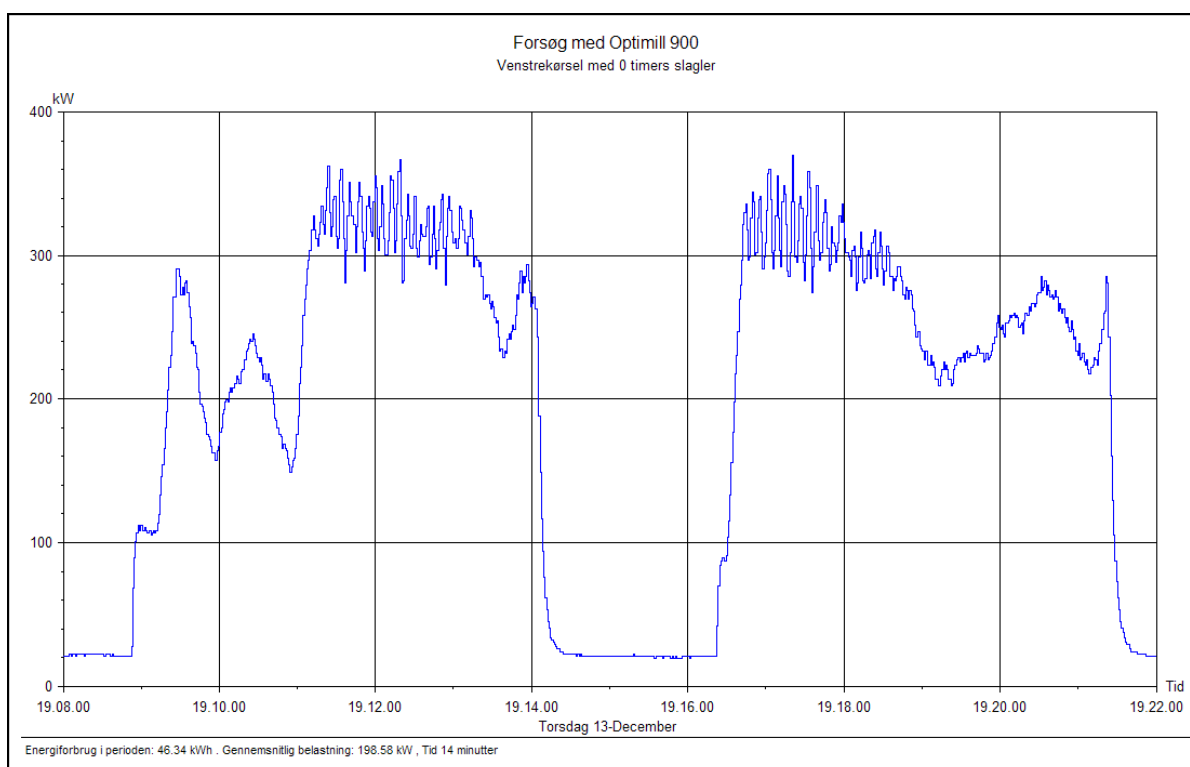
Ved 40 timers slagler kører møllen helt perfekt med rolig drift, høj kapacitet og lavt energiforbrug. Effektoptaget kommer stort set ikke over 300 kW.

Ved 80 timers slagler er møllen begyndt at "hakke" i det igen. Dog ikke så markant som ved venstrekørsel. Effektoptaget kommer stort set ikke over 300 kW.

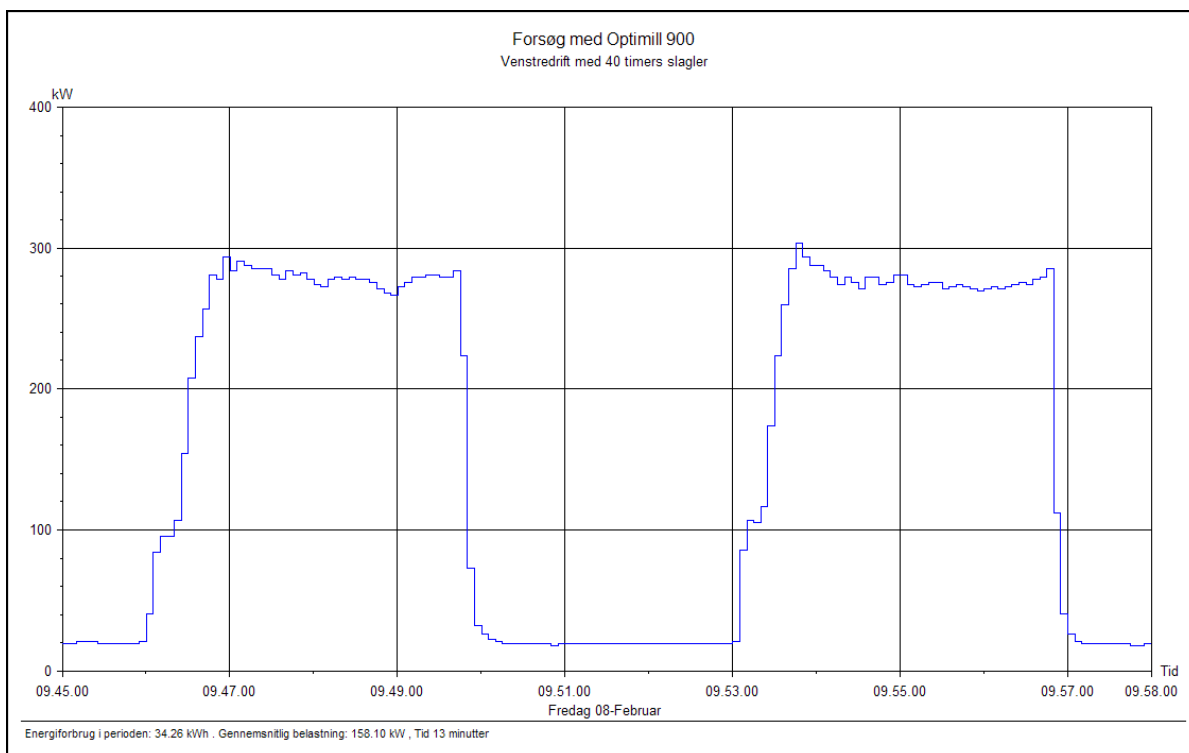
Kapaciteten er faldet til et niveau mellem nye og 40 timers slagler. Energiforbruget ligger lidt over 40 timers slagler men 20 % under niveauet ved nye slagler.

### 8.2.1.2 Målinger ved venstre omløb

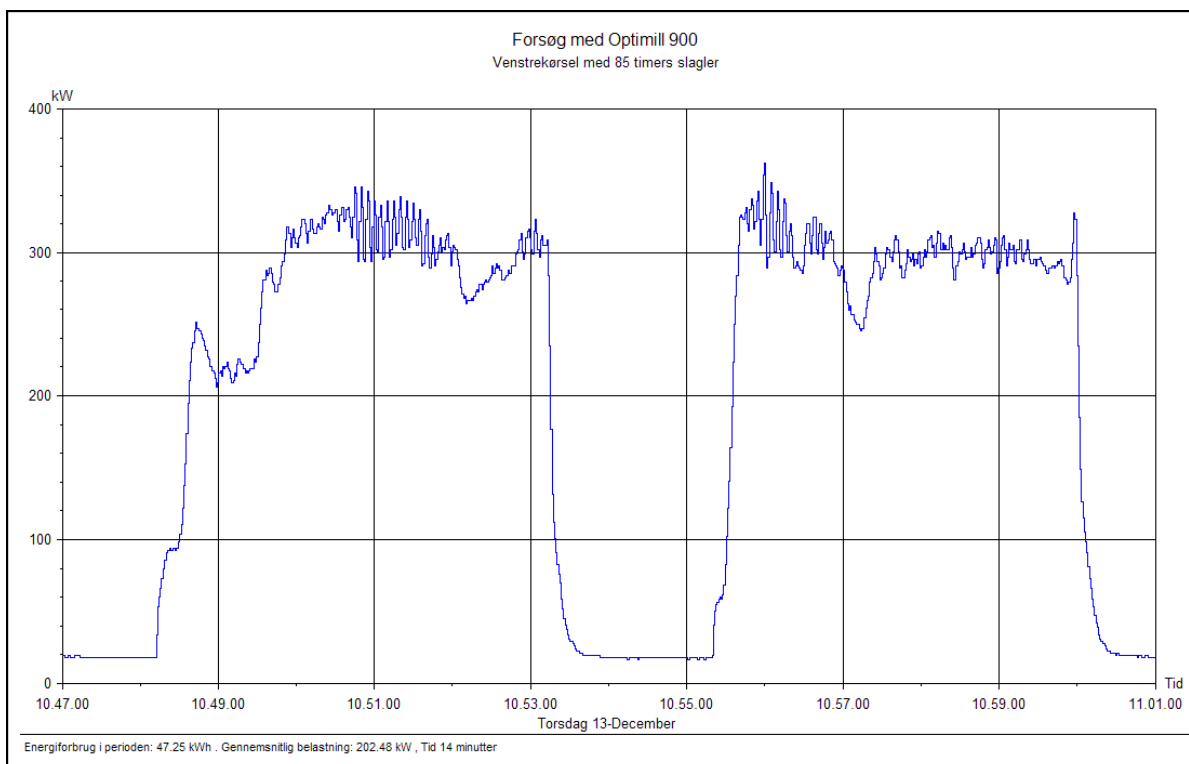
Herunder ses målingerne ved nye slagler og venstredrift:



Herunder ses driften ved venstre omløb og 40 timers drift:



Herunder ses det sidste forsøg:



Det ses, at møllen "hakker" en del i det med de nye slagler.

Energiforbruget ligger relativt højt og kapaciteten lavt. Effektoptaget ligger over 300 kW en del af tiden.

Ved 40 timers slagler kører møllen helt perfekt med rolig drift, høj kapacitet og lavt energiforbrug. Effektoptaget kommer ikke over 300 kW.

Ved 80 timers slagler er møllen begyndt at "hakke" i det igen. Effektoptaget kommer over 300 kW. Kapaciteten er faldet og energiforbruget er steget til samme niveau som ved nye slagler.

Sammenfattende kan det konkluderes, at møllen har den bedste drift med jævnt slidte slagler.

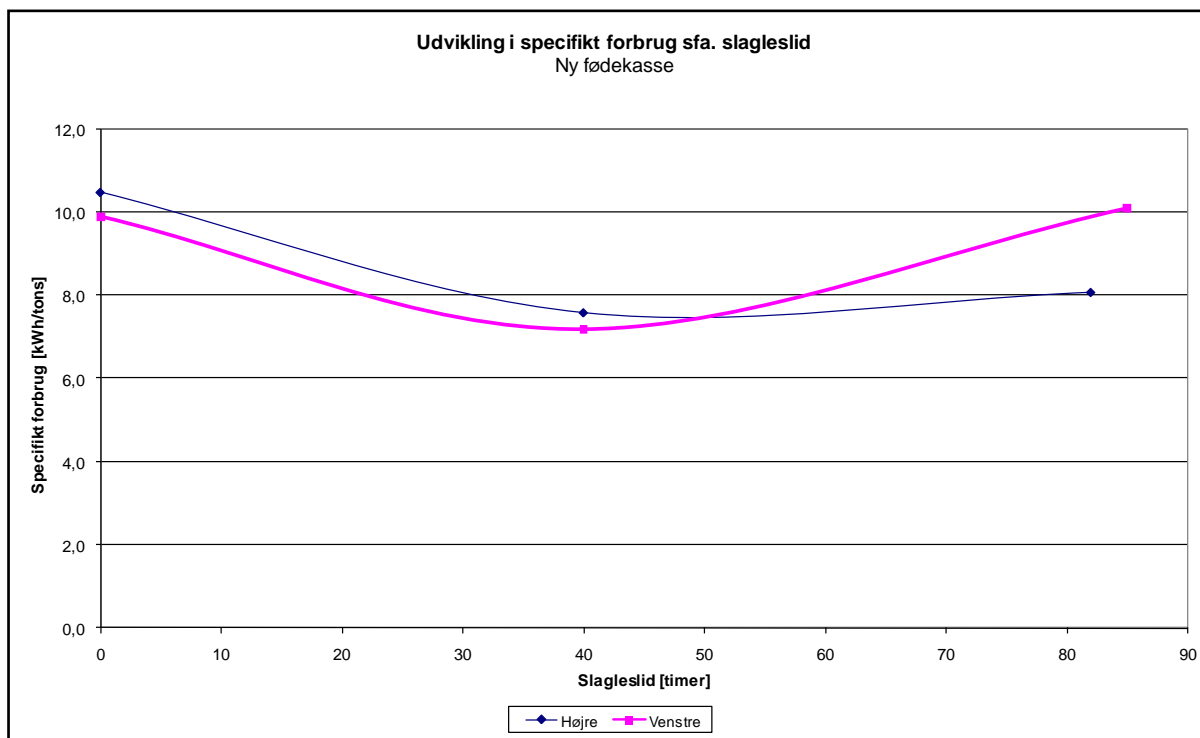


## 8.2.2 Dataanalyse

Ud fra måledata kan der opstilles en dataoversigt:

<b>Konstruktion af ny fødekasse</b>		Lagret korn fra 2007 høst					
Samlet analyse							
<u>Resultater ved venstredrift</u>							
Parameter		Eksisterende fødekasse			Ny fødekasse		
Dato		16/1-2007	25/1-2007	20/3-2007	13-12-2007	08-02-2008	13-12-2007
Slagleslid	[timer]	0	94	166	0	40	85
Luftmængde	[m <sup>3</sup> /h]	6.200	6.200	5.900	6.500	6.500	6.500
Belastningssetpunkt	[A]	400	400	400	550	550	550
Sigteprofil	[modulus]	3,28	3,62	3,14	-	-	-
Kapacitet	[tons/time]	19,1	18,9	24,2	25,4	32,9	25,3
Specifikt forbrug	[kWh/tons]	9,7	10,1	9,6	9,9	7,2	10,1
<u>Resultater ved højredrift</u>							
Parameter		Eksisterende fødekasse			Ny fødekasse		
Dato		16/1-2007	25/1-2007	20/3-2007	13-12-2007	08-02-2008	13-12-2007
Slagleslid	[timer]	0	64	151	0	40	82
Luftmængde	[m <sup>3</sup> /h]	6.100	6.200	5.900	6.500	6.500	6.500
Belastningssetpunkt	[A]	400	400	400	550	550	550
Sigteprofil	[modulus]	3,26	3,58	3,17	-	-	-
Kapacitet	[tons/time]	21,1	21,1	29,9	25,3	31,7	27,8
Specifikt forbrug	[kWh/tons]	9,0	8,6	6,9	10,5	7,6	8,1

Herunder ses kurven:



Det ses, at de 2 forbrug krydser hinanden.

Ved nye og 40 timers slagler kører møllen bedst til venstre. Ved 80 timers slagler ligger forbruget ved venstrekørsel væsentligt over forbruget til højrekørsel.

Med lagret korn og traditionelt fødeapparat lå forbruget ved højrekørsel lavest gennem hele perioden. Forskellen var stigende med slaglesliddet.

Med nyt korn og nyt fødeapparat krydsede de 2 forbrug. Med nye slagler var møllen mest effektiv til højre. Ved slidte slagler var møllen mest effektiv til venstre. Det gennemsnitlige forbrug var stort set det samme.

Herunder ses de gennemsnitlige forbrug ved lagret korn og nyt fødeapparat:

#### Venstre

Gennemsnitligt forbrug, traditionelt, lagret korn:	9,8 kWh/tons
Gennemsnitligt forbrug, nyt fødeapparat, nyt korn:	10,2 kWh/tons
Gennemsnitligt forbrug, nyt fødeapparat, lagret korn:	9,1 kWh/tons

#### Højre

Gennemsnitligt forbrug, traditionelt, lagret korn:	8,2 kWh/tons
Gennemsnitligt forbrug, nyt fødeapparat, nyt:	10,4 kWh/tons
Gennemsnitligt forbrug, nyt fødeapparat, lagret korn:	8,7 kWh/tons

Det ses, at forbruget faldt igen ved forsøgene med det nye fødeapparat og lagret korn.

For venstre omløb er forbruget gennemsnitligt faldet med 0,7 kWh/tons.

For højre omløb er forbruget gennemsnitligt steget med 0,5 kWh/tons.

### **8.3 Gevinst med nyt fødeapparat**

Det primære formål med nærværende F & U projekt var at få møllen til at formale med samme specifikke forbrug uanset omløbsretningen.

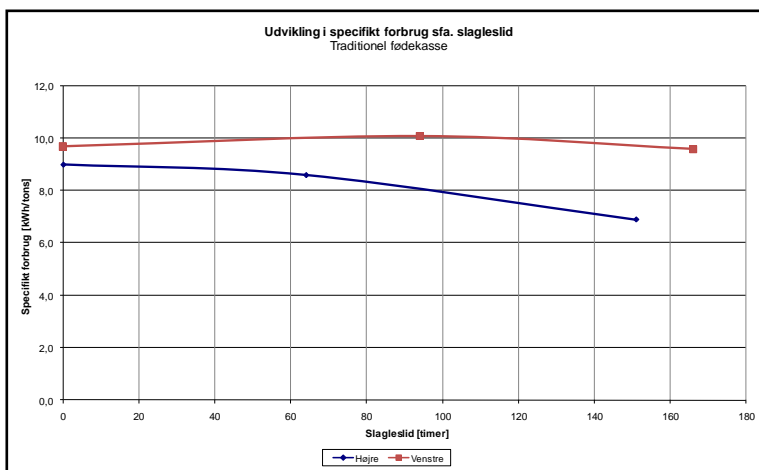
Implicit i dette var det laveste forbrug, der skulle være fællesnævner.

Da slaglemøllen kører belastningsafhængigt vil et lavere specifikt forbrug medføre kortere chargetid og dermed højere kapacitet.

I de efterfølgende afsnit redegøres for resultaterne med det nye fødeapparat.

### 8.3.1 Forbrugets afhængighed af omløbsretningen

Ud fra måleresultaterne blev der konstrueret 3 diagrammer:



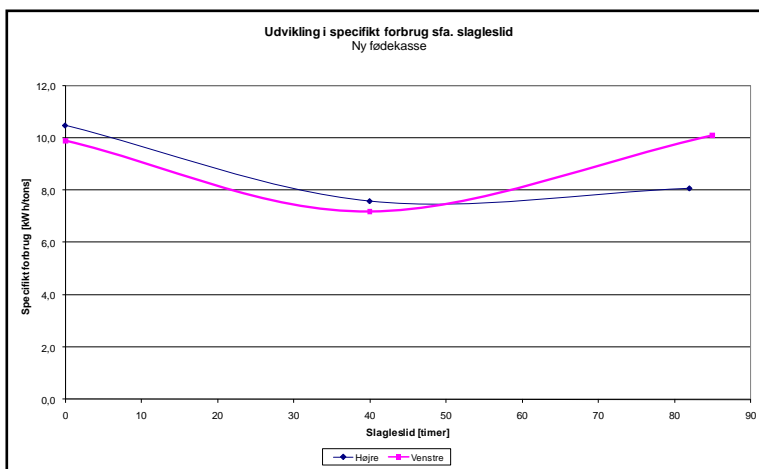
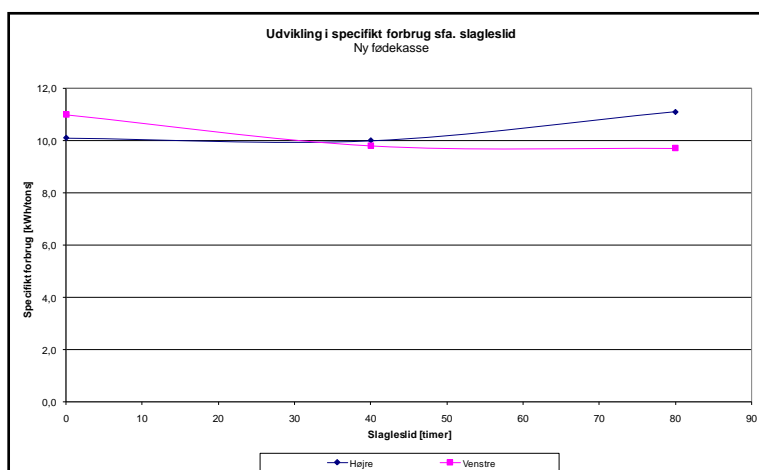
**Traditionelt fødeapparat og lagret korn:**

Møllen kører klart bedst til højre.

Slaglerne har dog kørt meget for længe.

**Nyt fødeapparat og nyt korn:**

Møllen kører først bedst til højre og til sidst bedst til venstre.



**Nyt fødeapparat og lagret korn:**

Møllen kører først bedst til venstre og til sidst bedst til højre.

Sammenligningerne er lidt misvisende, fordi slaglerne kørte så mange timer ved basisforsøgene. Endvidere var belastningssetpunktet kun på 400 A.

For at analysere forskellen må timerne korrigeres for belastningen. Slaglerne vil således være mere slidt efter 80 timers drift med 550 A end med 80 timers drift med 400 A.

Der korrigeres ud fra kapaciteterne i skemaet under pkt. 7.1.2 for lagret korn. For det traditionelle fødeapparat medregnes kun kapaciteten i de 2 første forsøg. Det sidste forsøg medregnes ikke, fordi slaglerne var alt for slidte.

Gennemsnitlig kapacitet, venstre:	$(19,1 + 18,9)/2 =$	19,0 tons/time
Gennemsnitlig kapacitet, højre:	$(21,1 + 21,1)/2 =$	21,1 tons/time

For det nye fødeapparat regnes med resultaterne fra 40 og 80 timers drift ved venstre, da de vurderes mest repræsentative for driften. Ved højredrift anvendes alle data.

Gennemsnitlig kapacitet, venstre:	$(25,7 + 25,3)/2 =$	25,5 tons/time
Gennemsnitlig kapacitet, højre:	$(24,9 + 24,6 + 23,7)/3 =$	24,4 tons/time

Herefter kan det korrigerede timetal for sammenligning af 400 A drift med 550 A drift beregnes. Møllen kører kun 50 % belastet. Derfor korrigeres kun for 40 timer.

Korrigeret venstre:	$40 \text{ timer} + 19,0 / 25,5 \cdot 40 \text{ timer} =$	70 timer
Korrigeret højre:	$40 \text{ timer} + 21,1 / 24,4 \cdot 40 \text{ timer} =$	75 timer

Der sammenlignes ved: 72,5 timer

Forskellen kan aflæses på kurven i dette afsnit til:

**Forskel korrigeret, venstre/højre drift, traditionelt fødeapparat: 1,5 kWh/tons**  
Lavest: Til højre

Med det nye fødeapparat er forskellen:

**Forskel venstre/højredrift nyt fødeapparat, nyt korn: 1,4 kWh/tons**  
Lavest: Til venstre

**Forskel venstre/højredrift nyt fødeapparat, lagret korn: 2,0 kWh/tons**  
Lavest: Til højre

Dvs. der er en lille gevinst ved nyt korn men ved lagret korn, som der bør sammenlignes ved, er der en stigning på 0,5 kWh/tons, svarende til 1/3.

Imidlertid krydser kurverne med det nye fødeapparat. Forskellen kan også belyses ud fra arealet under kurverne.

Ved regression kan der opstilles tilnærmede ligninger for kurverne. Ved integration af ligningerne kan arealet og dermed forbruget beregnes for de forskellige driftssituationer.

### Analyse af forskel lagret korn, traditionelt fødeapparat

Herunder ses ligningerne for kurverne:

$$\text{Venstre: } -0,00007 \cdot x^2 + 0,0106 \cdot x + 9,7$$

$$\text{Højre: } -0,00009 \cdot x^2 - 0,0006 \cdot x + 9,0$$

Til beregning af arealet anvendes integralet:

$$\int \text{Venstre: } -0,000023 \cdot x^3 + 0,0053 \cdot x^2 + 9,7 \cdot x$$

$$\int \text{Højre: } -0,00003 \cdot x^3 - 0,0003 \cdot x^2 + 9,0 \cdot x$$

Der skal regnes fra 0 til 80 timer for at få sammenlignelige tal. Arealet bliver:

$$\begin{array}{ll} \text{Venstre:} & 810 \\ \text{Højre:} & 703 \end{array}$$

$$\text{Merforbrug: } 107$$

$$\text{Procentuelt merforbrug til venstre: } 107 / 703 \cdot 100 \% = 15,2 \%$$

### Analyse af forskel nyt korn, nyt fødeapparat

Herunder ses ligningerne for kurverne:

$$\text{Venstre: } 0,0003 \cdot x^2 - 0,0437 \cdot x + 11,0$$

$$\text{Højre: } 0,0004 \cdot x^2 - 0,0175 \cdot x + 10,1$$

Til beregning af arealet anvendes integralet:

$$\int \text{Venstre: } 0,0001 \cdot x^3 - 0,0219 \cdot x^2 + 11,0 \cdot x$$

$$\int \text{Højre: } 0,00013 \cdot x^3 - 0,0088 \cdot x^2 + 10,1 \cdot x$$

Der skal regnes fra 0 til 80 timer for at finde arealet under kurverne:

$$\begin{array}{ll} \text{Venstre:} & 791 \\ \text{Højre:} & 818 \end{array}$$

Da kurverne krydser hinanden, kan de ikke umiddelbart trækkes fra hinanden for at finde forskellen mellem højre og venstrekørsel.

Skæringspunktet er 30,7. Arealerne fra 0 til skæring kan beregnes til:

$$\text{Venstre, før skæring: } 320$$

$$\text{Højre før skæring: } 305$$

$$\text{Forskel: } 15$$

For arealet fra 30,7 til 80 fås:

Venstre:

$$\int_{30,7}^{80} 0,0001 \times^3 - 0,0219 \times + 11 \times \\ = (0,0001 \times 80^3 - 0,0219 \times 80^2 + 11 \times 80) - (0,0001 \times 30,7^3 - 0,0219 \times 30,7^2 + 11 \times 30,7) \\ = 471$$

Højre:

$$\int_{30,7}^{80} 0,00013 \times^3 - 0,0088 \times + 10,1 \times \\ = (0,00013 \times 80^3 - 0,0088 \times 80^2 + 10,1 \times 80) - (0,00013 \times 30,7^3 - 0,0088 \times 30,7^2 + 10,1 \times 30,7) \\ = 512$$

Forskel:  $512 - 471 =$  41

Den samlede forskel kan beregnes til:

Samlet forskel:  $15 + 41 =$  56

#### Analyse af forskel lagret korn, nyt fødeapparat

Herunder ses ligningerne for kurverne:

Venstre:  $0,0016 \cdot x^2 - 0,1296 \cdot x + 9,9$

Højre:  $0,001 \cdot x^2 - 0,1136 \cdot x + 10,5$

Til beregning af arealet anvendes integralet:

$\int$ Venstre:  $0,000533 \cdot x^3 - 0,0648 \cdot x^2 + 9,9 \cdot x$

$\int$ Højre:  $0,000333 \cdot x^3 - 0,0568 \cdot x^2 + 10,5 \cdot x$

Der skal regnes fra 0 til 80 timer for at finde arealet under kurverne:

Venstre: 650

Højre: 647

Da kurverne krydser hinanden, kan de ikke umiddelbart trækkes fra hinanden for at finde forskellen mellem højre og venstrekørsel.

Skæringspunktet er 47,6. Arealerne fra 0 til skæring kan beregnes til:

Venstre, før skæring: 382

Højre før skæring: 407

Forskel: 25



For arealet fra 30,7 til 80 fås:

Venstre:

$$\int_{47,6}^{80} 0,000533 \times x^3 - 0,0648 \times x + 9,9 \times x \, dx$$
$$= \left( 0,000533 \times 80^3 - 0,0648 \times 80^2 + 9,9 \times 80 \right) - \left( 0,000533 \times 47,6^3 - 0,0648 \times 47,6^2 + 9,9 \times 47,6 \right)$$
$$= 269$$

Højre:

$$\int_{47,6}^{80} 0,000333 \times x^3 - 0,0568 \times x + 10,5 \times x \, dx$$
$$= \left( 0,000333 \times 80^3 - 0,0568 \times 80^2 + 10,5 \times 80 \right) - \left( 0,000333 \times 47,6^3 - 0,0568 \times 47,6^2 + 10,5 \times 47,6 \right)$$
$$= 240$$

Forskel:  $269 - 240 = 29$

Den samlede forskel kan beregnes til:

Samlet forskel:  $25 + 29 = 54$

#### Samlet analyse af forbrugets afhængig af omløbsretningen

Arealerne under kurverne viser dels noget om det absolutte forbrug dels noget om forskellen i forbrug afhængigt af omløbsretningen.

Herunder ses de absolutte værdier:

Sammenligning af arealer for forbrug			
	Højre	Venstre	I alt
Lagret korn, trad. fødeapparat	703	810	1.530
Nyt korn, nyt fødeapparat	818	791	1.609
Lagret korn, nyt fødeapparat	647	650	1.297

Enheden på værdierne er kWh/tons pr. time. Ved at gange med antallet af driftstimer og antallet af formalede tons fås det samlede forbrug i kWh ved at følge den aktuelle kurve.

Sammenligningen ved nyt korn er ikke relevant, idet det er kendt, at der er et forhøjet forbrug ved formaling af nyt korn.

Forbruget til formaling af lagret korn er faldet. Det procentuelle fald udgør:

$$(1.530 - 1.297) / 1.530 \cdot 100 \% = 15 \%$$

Det nye fødeapparat har således medført en reduktion i forbruget på 15 %.

Samlet analyse af forskellen i specifikt forbrug afhængigt af omløbsretningen  
Ud fra beregningerne på arealerne kan forskellen i specifikt forbrug vurderes.

Forskel i specifikt forbrug	
	Forskel
Lagret korn, trad. fødeapparat	107
Nyt korn, nyt fødeapparat	56
Lagret korn, nyt fødeapparat	54

Ved sammenligning af det samlede forbrug lå nyt korn højest.

Ved sammenligning af forskellen i det specifikke forbrug som funktion af omløbsretningen ses det, at forskellen i begge tilfælde er reduceret til halvdelen.

Der sammenlignes på lagret korn. Det procentuelle fald udgør:

$$(107 - 54) / 107 \cdot 100 \% = \mathbf{50 \%}$$

Det nye fødeapparat har således medført en reduktion i forskellen med 50 %.

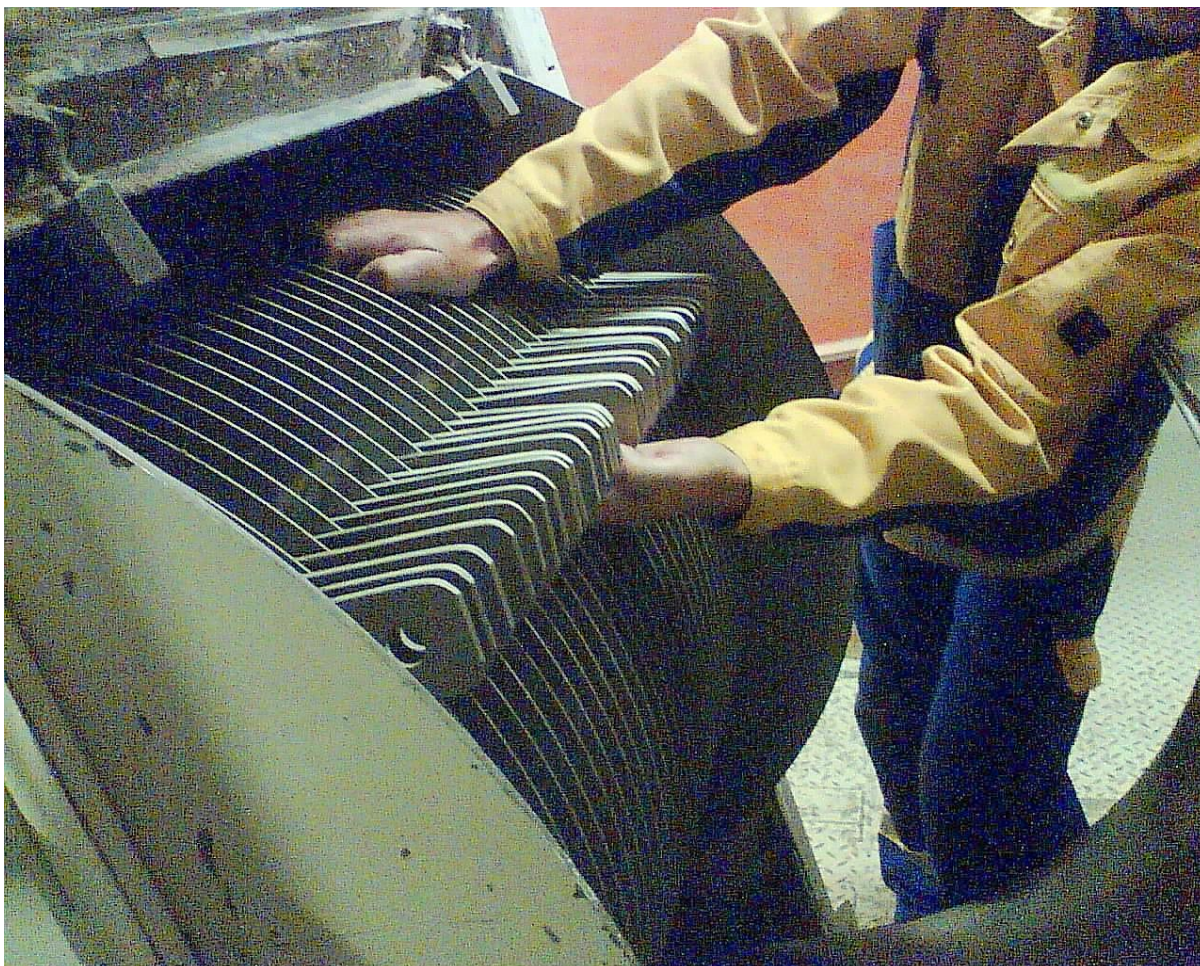
### 8.3.2 Slagleslid

Det nye fødeapparat er kun 700 mm bredt, mod det traditionelle fødeapparat på 900 mm. Det giver en ændret varestrøm ned i møllen.

Det er typisk forøget slid på sideslaglerne på den traditionelle rotor. Da slaglerne skal skiftes/vendes ved kritisk slid på den mest udsatte slagle monteres der normalt 2 slagler i den yderste række.

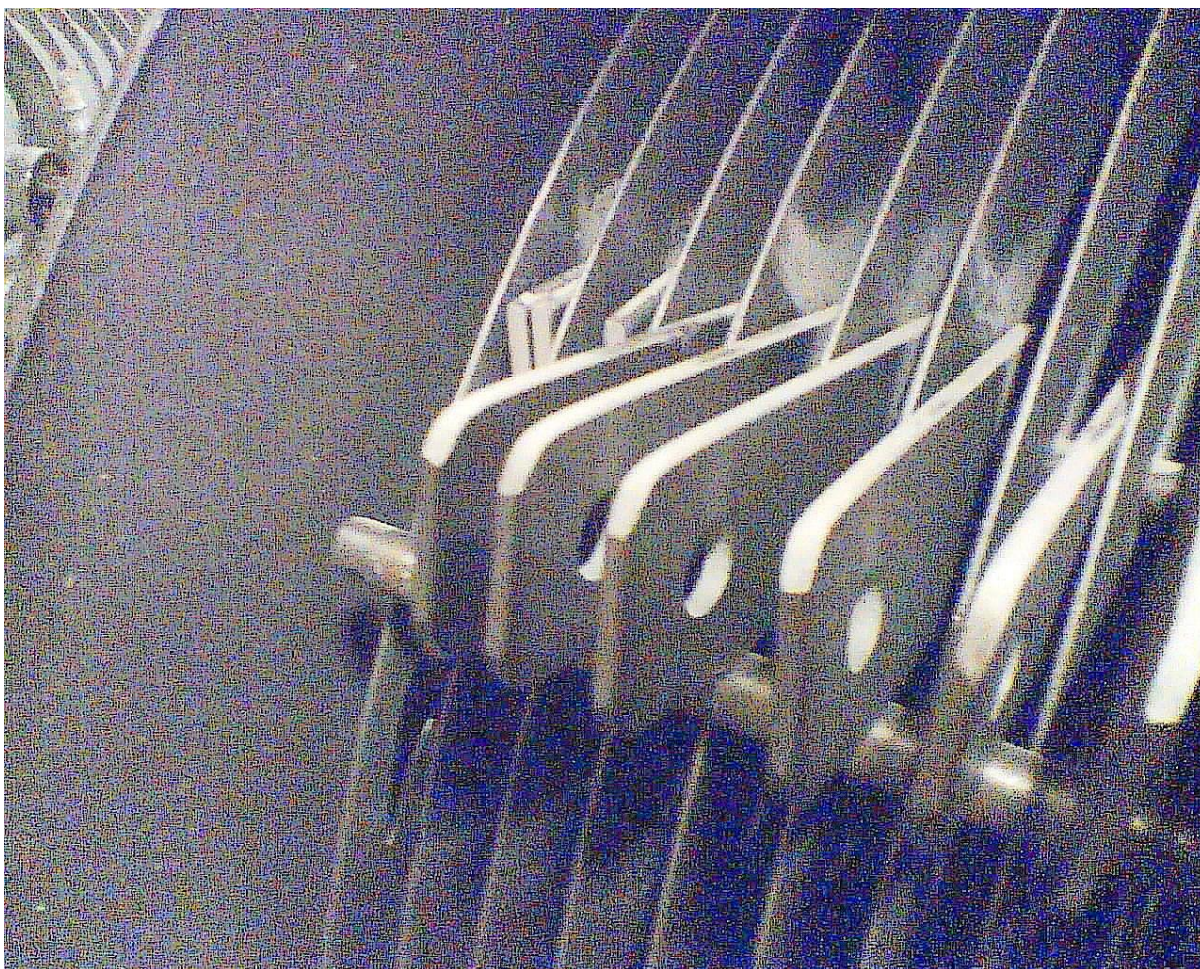
Ved at centrere fødningsen mere i midten ændres mønsteret for sliddet.

Herunder ses billeder af slaglerne over hele rotoren og 40 timers drift både til højre og venstre:



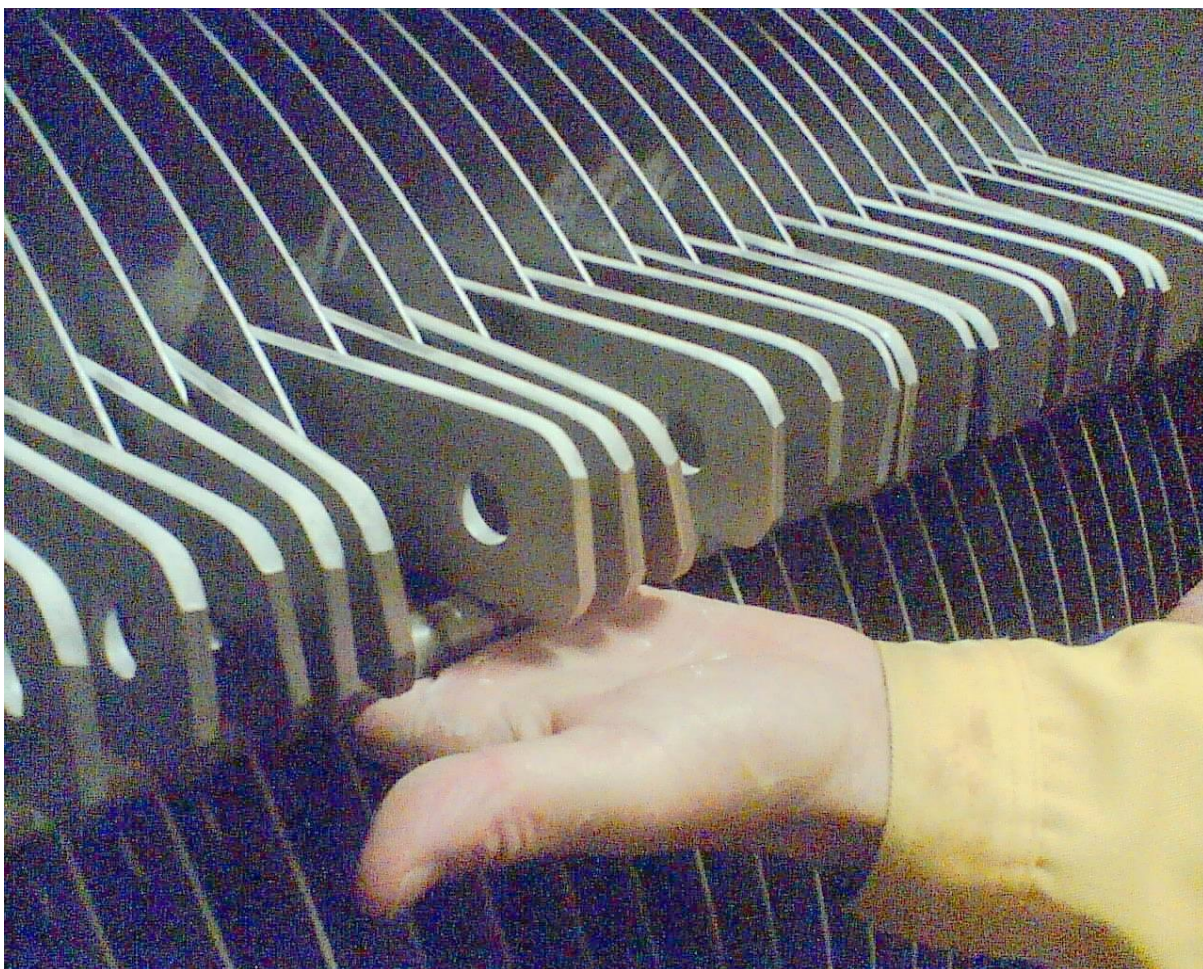
Slaglerne vurderes rimeligt jævnt slidt over hele bredden. Der har tidligere været tale om øget slid mod højre i billedet, dvs. den side luften trækkes ud i. Denne tendens ses dog ikke udpræget på billedet.

Herunder ses de første slagler:



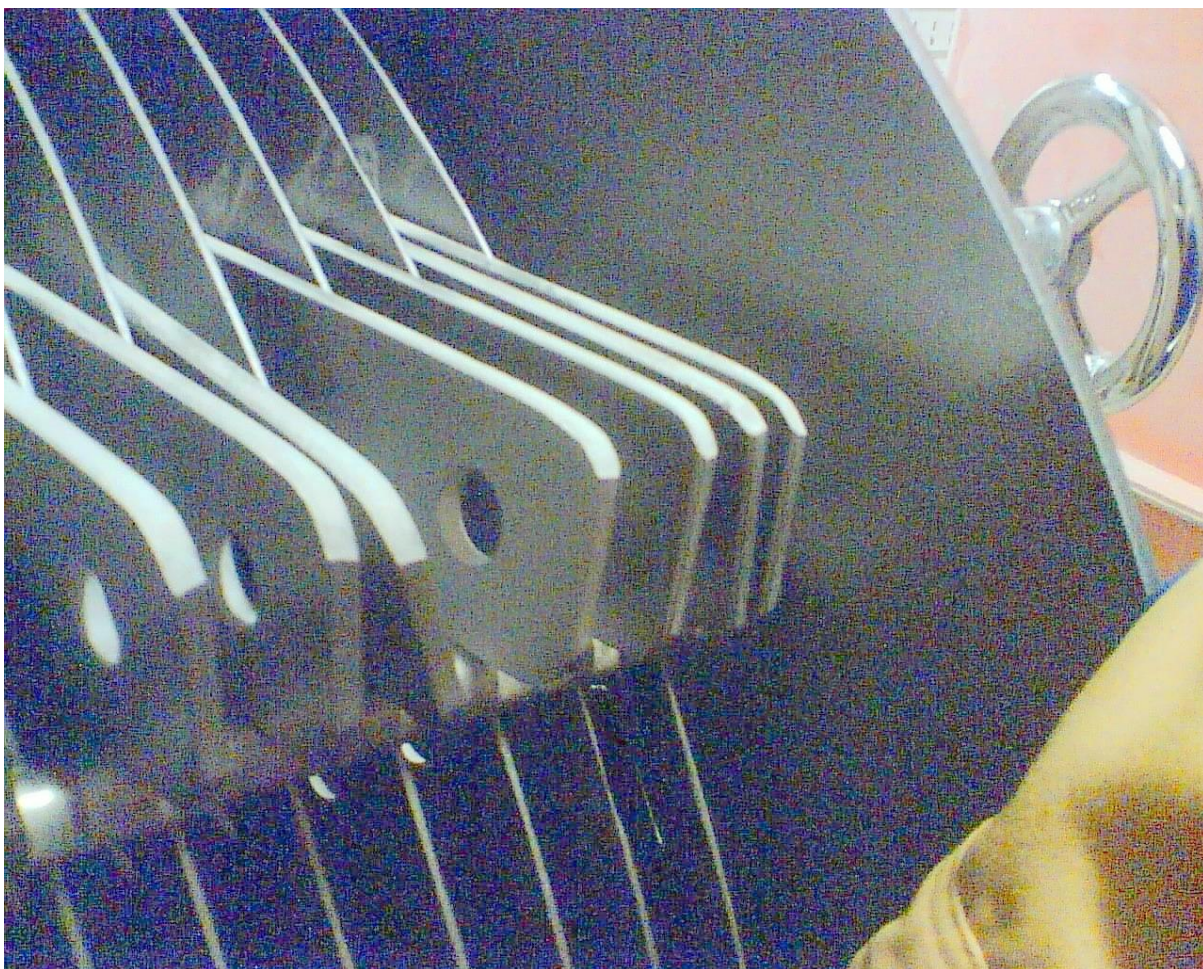
Slaglerne er ikke slidt ret meget. Slaglesliddet er jævnt til begge sider, selvom det ikke fremgår klart af billedet.

Herunder ses de midterste slagler:



Disse slagler er også jævnt slidt.

Herunder ses de yderste slagler:



Slaglerne er jævnt slidt til begge sider.

Herunder ses slaglerne efter 80 timers drift til begge sider, dvs. ved udskiftning:



Det ses, at slaglen er rimelig jævnt slidt til begge sider. Den er desuden slidt ind over midten, hvad den ikke bør være inden udskiftning.

Her fra midten:



De midterste slagler er mest slidt til højre, på trods lige mange driftstimer.

Her til højre:



Disse slagler er også slidt mest til højre.

Samlet er slaglesliddet blevet mere jævnt over rotorbredden. Dette er en naturlig følge af den smallere fødnings.

Dette er en vigtig konstatering i forhold det reducerede forbrug.



### 8.3.3 Kapacitet

Herunder er de registrerede kapaciteter oplistet for hvert forsøg:

#### Venstre

Gennemsnitlig kapacitet, traditionelt, lagret korn:	20,7 tons/time
Gennemsnitlig kapacitet, nyt fødeapparat, nyt korn:	24,6 tons/time
Gennemsnitlig kapacitet, nyt fødeapparat, lagret korn:	27,9 tons/time

#### Højre

Gennemsnitlig kapacitet, traditionelt, lagret korn:	24,0 tons/time
Gennemsnitlig kapacitet, nyt fødeapparat, nyt korn:	24,4 tons/time
Gennemsnitlig kapacitet, nyt fødeapparat, lagret korn:	28,3 tons/time

Det ses, at kapaciteten er steget fra driften med det traditionelle fødeapparat til driften med det nye fødeapparat. Det skyldes, at belastningssetpunktet er øget fra 400 A til 550 A.

Forskellen i kapacitet ud fra omløbsretningen kan beregnes til:

Forskel, traditionel, lagret korn:	$24,0 - 20,7 =$	3,3 tons/time
Forskel, ny, nyt korn:	$24,4 - 24,6 =$	- 0,2 tons/time
Forskel, traditionel, lagret korn:	$28,3 - 27,9 =$	0,4 tons/time

Det ses, at med det nye fødeapparat er forskellen i kapacitet som følge af omløbsretningen reduceret med hhv. 94 % og 88 %.

Det stemmer fint overens med, at forskellen i det specifikke forbrug også er reduceret.

## 9. Konklusion

Konklusionen opdeles i 3 delkonklusioner for hhv.

Resultat for energibalance  
Resultat for nyt fødeapparat  
Resultat for dobbeltformaling

Herunder redegøres for hvert område.

### 9.1 Resultat for opstilling af energibalance

Formålet med at lave en energibalance på formalingsprocessen var, at afsløre om der var unødvendige tab, som kunne elimineres. Der ville således kunne opnås en højere energieffektivitet på formalingsprocessen.

Forsøgsresultaterne til opstilling af energibalancen på formalingsanlægget var fint i overensstemmelse med tidligere resultater fra andre aktører, og resultaterne vurderes som meget valide.

Energibalancen viste, at 74 % af den tilførte el-effekt bliver til varme. Da energien til findeling af råvarerne bliver til varme, svarer det til en virkningsgrad på formalingsprocessen på 74 %.

En del af energien går til vandfordampning men skal medtages, da det først har været varme.

Det er normalt, at mekanisk energi til deformation omdannes til varme. Dvs. spørgsmålet er, om der er for meget varmeenergi i forhold til den nødvendige energi til det udførte arbejde ved formalingen.

Sammenligningen med varmeudviklingen ved valsning giver en indikation. Ved at valse kornet halveres temperaturstigningen i melet. Dvs. varmeenergien halveres.

Målinger af det specifikke elforbrug viser også en halvering ved at valse kornet i stedet for formaling på slaglemøllen. Dvs. der er god sammenhæng mellem det specifikke elforbrug, temperaturstigningen og strukturen i melet.

Der er således en helt anden struktur på det mel, som er slået i stykker på en slaglemølle, og det mel som er valset. Det er dermed ikke umiddelbart muligt at opnå samme struktur på melet ved et lavere specifikt elforbrug.

Det kan ikke konkluderes, at det specifikke forbrug ikke kan sænkes ved mere optimal drift af slaglemøllen. Der kan således godt ligge et potentiale ved optimering af slaglemøllens drift. Virkningsgraden vurderes som værende høj.

## 9.2 Reduktion af forskel som funktion af omløbsretning

Det primære formål med nærværende F & U projekt var at reducere forskellen i kapacitet og specifikt elforbrug afhængigt af omløbsretningen på møllen.

Der blev udført en basismåling med det traditionelle fødeapparat på en udvalgt mølle. Herefter blev der konstrueret et nyt fødeapparat og lavet et nyt full scale anlæg på det valgte anlæg.

Der blev herefter udført sammenlignelige forsøg med forskellige grader af slagleslid.

Forsøgene med eftermålinger blev udført 2 gange, da der var ny høst lige efter opsætning af det nykonstruerede fødeapparat i august 2007.

Forsøgene blev gentaget omkring årsskiftet med lagret korn. Der blev udført forsøg med måling af det specifikke elforbrug som funktion af slaglesliddet. Herefter blev der indtegnet kurver, og arealerne under kurverne blev beregnet.

Arealet er et udtryk energiforbruget over et sæt slaglers levetid (2 hjørner).

Herunder ses de beregnede værdier for det absolutte forbrug:

Sammenligning af arealer for forbrug			
	Højre	Venstre	I alt
Lagret korn, trad. fødeapparat	703	810	1.530
Nyt korn, nyt fødeapparat	818	791	1.609
Lagret korn, nyt fødeapparat	647	650	1.297

Enheden på værdierne er kWh/tons pr. time. Ved at gange med antallet af driftstimer og antallet af formalede tons fås det samlede forbrug i kWh ved at følge den aktuelle kurve.

Forbruget til formaling af lagret korn er faldet. Det procentuelle fald udgør:

$$(1.530 - 1.297) / 1.530 \cdot 100 \% = 15 \%$$

Det nye fødeapparat har således medført en reduktion i forbruget på 15 %.

Skemaet herunder viser forskellen i det specifikke forbrug som funktion af omløbsretningen før og efter:

Forskel i specifikt forbrug	
	Forskel
Lagret korn, trad. fødeapparat	107
Nyt korn, nyt fødeapparat	56
Lagret korn, nyt fødeapparat	54

Ved sammenligning af det samlede forbrug lå nyt korn højest.

Ved sammenligning af forskellen i det specifikke forbrug som funktion af omløbsretningen ses det, at forskellen i begge tilfælde er reduceret til halvdelen.

Der sammenlignes på lagret korn. Det procentuelle fald udgør:

$$(107 - 54) / 107 \cdot 100 \% = 50 \%$$

Det nye fødeapparat har således medført en reduktion i forskellen med 50 %.

Baggrunden for det reducerede forbrug vurderes til:

1. Det nye fødeapparat er reduceret fra 900 mm til 700 mm i bredden. Samtidig er omløbsretningen på sneglene vendt, så de spreder ud i stedet for at samle råvarerne.

Det medfører, at råvaren er mere jævnt fordelt over soldet. Møllen har nemmere ved at formale og komme af med melet. Dvs. opholdstiden i møllen er kortere.

2. Fødningen af møllen er mere ret ned i møllen. Det minimerer forskellen mellem højre og venstre løb på møllen.

Den mere jævne fordeling over soldet bekræftes af et markant mere jævnt slid over hele soldet.

Reduktion i forskellen mellem omløbsretningerne bekræftes af kapaciteten stort set er blevet den samme, uanset om møllen kører til højre eller venstre.

Samlet er der god sammenhæng mellem de konstaterede parametre med det nye fødeapparat.

Målt på de primære faktorer har projektet således været en succes.

### 9.3 Resultat for dobbeltformaling

Der blev konstrueret en ny lille mølle og kørt forsøg. Imidlertid viste forsøgene, at konstruktionen med slagler og trådsold ikke kunne opfylde de opstillede kriterier.

Der blev herefter tegnet en ny mølle med et andet formalingsprincip.

Denne del af projektet kom ikke længere, da der manglende økonomi og tid til at lave projektet færdigt.

Projektet er dog stadig aktuelt, da der er gode perspektiver i dobbeltformaling.

Det overvejes, om projektet skal færdiggøres på kommerciel basis, eller der skal søges nye midler.