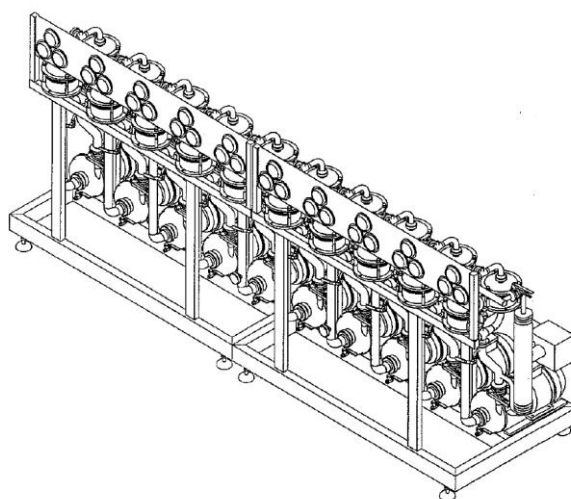




ELFOR F&U projekt 2007 nr. 339-033

Energieffektive hydrocykloner.



Indholdsfortegnelse

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Forord til projektet | 3 |
| 2 | Sammenfatning og konklusion | 4 |
| 3 | Typisk fremstilling af kartoffelmel | 5 |
| 3.1 | Udgangspunktet: Den rå kartoffel..... | 5 |
| 3.2 | Omhyggelig vask..... | 5 |
| 3.3 | Rivsel | 5 |
| 3.4 | Separering af væskestrømmen | 5 |
| 3.5 | Raffinering..... | 6 |
| 3.6 | Vakuump filtre og tørring..... | 6 |
| 3.7 | Hvor anvendes kartoffelstivelse? | 6 |
| 4 | Eksisterende anlæg. | 8 |
| 4.1 | Beskrivelse af eksisterende anlæg i Karup | 8 |
| 4.2 | Beskrivelse af eksisterende anlæg i Brande | 10 |
| 5 | Beskrivelse af hydrocyclonanlæg..... | 12 |
| 5.1 | Beskrivelse af et cyklonprincip..... | 12 |
| 5.2 | Beskrivelse af pilotanlægget..... | 12 |
| 5.3 | Pilotanlæggets placering i det eksisterende anlæg, Karup. | 15 |
| 5.4 | Pilotanlæggets placering i det eksisterende anlæg, Brande. | 16 |
| 6 | Drift af pilotanlægget. | 17 |
| 6.1 | Pilotanlægget i Karup..... | 17 |
| 6.2 | Pilotanlægget i Brande..... | 18 |
| 7 | Måleresultater og analyser | 19 |
| 7.1 | Usikkerhed/afvigelser..... | 19 |
| 7.2 | Tryktab over cyklonerne | 19 |
| 7.3 | Mængde af stivelse i pulpen..... | 21 |
| 7.4 | Flow gennem anlæg | 21 |
| 7.5 | Masseflow under separering | 22 |
| 7.6 | Elforbrug på anlægget i Karup..... | 23 |
| 7.7 | Elforbrug på anlægget i Brande | 24 |
| 7.8 | Elforbrug på pilotanlægget i Brande | 24 |
| 8 | Elbesparelser..... | 27 |
| 8.1 | Forskelle mellem Karup og Brande | 27 |
| 8.2 | Økonomisk besparelse | 28 |
| 8.3 | Perspektivering | 30 |
| 9 | Barrierer for indførelse af cyklonprincippet..... | 31 |

Bilag

- Bilag 1: Diagram over pilotanlæg
- Bilag 2: °Be tabel
- Bilag 3: Trykstigning over pumper
- Bilag 4: Driftskurver over 2½ måned.
- Bilag 5: Driftskurver over 3 dage.
- Bilag 6: Masseflow.
- Bilag 7: Besparelse ift. nye si-anlæg

| Rev. | Dato | Person | E-mail |
|------|------------|------------------|-----------------|
| 00 | 27.05.2009 | Gunnar Bentsen | gb@enviscan.com |
| QA | 27.05.2009 | Cecilie Sørensen | cs@enviscan.com |

1 Forord til projektet

Nærværende rapport er udarbejdet i forbindelse med udviklingsprojekt nr. 339-033, Udvikling af energieffektive hydrocykloner til separation.

Projektet skal ses som en fortsættelse af projekt nr. 337-008 Udvikling af energieffektive hydrocykloner – forprojekt. Projektets primære formål er at undersøge de energimæssige besparelsesmuligheder ved at anvende hydrocykloner til separation, i stedet for mere traditionelle separationsteknologier som centrifugalsier og centrifuger.

Mange industrier i Danmark udfører i dag separationsprocesser, bl.a. saltfabrikker, benmelsfabrikker, fiskemelsfabrikker, mejerier, sukkerfabrikker og kartoffelmelfabrikker. Så energibesparelsespotentialer er stort, hvis bare 20 % af separationsindustrien kan overføres til hydrocykloner udgør potentialer i størrelsesordenen 35.000 MWh/år. Dette projekt omhandler forsøg på kartoffelmelfabrikker hvor separation af stivelse fra rivslen er udført med hydrocykloner i stedet for traditionelle si-løsninger.

Et pilotanlæg med en kapacitet på ca. 8 m³ rivsel pr. time, blev opstillet på Karup Kartoffelmelsfabrik, hvor driftsdata fra anlægget skal sammenlignes med data fra fabrikkens traditionelle anlæg som kører med en kapacitet på ca. 100 m³ pr. time.

Efterfølgende blev pilotanlægget flyttet til Brande Kartoffelmelfabrik. Fabrikken i Brande er procesmæssigt opbygget lidt anderledes, og vi ville undersøge om det havde indflydelse på driften af hydrocyklonerne.

Notatet er udført af:

Korsbæk & Partnere
Rådgivende ingeniørfirma KS
Jupitervej 2
7000 Fredericia
CVR: 13776083

Sag nr.: 06/224

J.nr.: 464-06

Ref.: JBJ/JLO

Øvrige projektdeltageres kontaktoplysninger:

AKK Karup AmbA
Jens Mikkelsen
Engholmvej 19
7470 Karup J
Tlf.: 97 10 14 22

AKM Brande AmbA
Jørgen Bæk
Herningvej
7330 Brande
Tlf.: 97 18 08 88

AKV Langholt AmbA
Niels Eriksen
Gravholtsvej 92
9310 Vodskov
Tlf.: 96 38 94 20

AKS Toftlund AmbA
Jens Jørgen Nielsen
Tøndervej 3
6520 Toftlund
Tlf.: 74 83 13 43

Vortex SLS BV
Herbert Zeewalkink
Rijksstraatweg 26
9756 AG Glimmen
The Nederlands.
Tlf.: +31 (0) 50 57 77 242

2 Sammenfatning og konklusion

Hydrocyklonanlægget har været testet igennem to kampagner. I kampagnen 2007/2008 var anlægget placeret på Karup Kartoffelmelfabrik, og her kunne cyklonanlægget opnå en energibesparelse på ca. 32 % målt i forhold til det eksisterende si-anlæg.

Heri er medregnet et forbrug til en maceratorsnitner, forfiltrering af rivslen samt ekstra afvanding af pulpen.

I kampagnen 2008/2009 var anlægget placeret på Brande Kartoffelmelfabrik, og anlægget opnåede her en besparelse på hele 54 % sammenlignet med det traditionelle si-anlæg.

Heri er medregnet et forbrug til en shearpump for homogenisering af rivslen samt ekstra forbrug til afvanding af pulp. Forfiltrering af rivslen menes ikke at være nødvendigt.

Forfiltrering af rivslen har været overvejet idet der i Karup var store problemer med tilstopning af cyklonerne. Men med montering af shearpump i Brande er det lykkedes at løse dette problem. En anderledes anlægsopbygning i Brande hvor rivslen først ledes gennem frugtsaft dekantere inden cyklonerne havde ingen indflydelse på tilstopningen.

Med hydrocyklonanlægget er det yderligere lykkedes at udvinde en større andel af stivelsen fra rivslen, idet mængden af stivelse i pulpen er halveret, sammenlignet med de eksisterende anlæg.

Sandindholdet i rivslen slider hårdt på cyklonerne. Når cyklonerne slides medfører det en dårligere separering af stivelse, pulp og frugtsaft. På sigt skal der arbejdes med cykloner i et mere slidstærkt materiale end nylon. Der kan evt. støbes cykloner med indstøbt glas eller keramik, alternativt kan cykloner støbes lidt større og så i aluminium.

De eksisterende anlæg i både Karup og Brande har været i drift i mange år og er derfor ikke nødvendigvis den mest energirigtige si-løsning.

Efter kampagnen 2007/2008 beslutter Karup kartoffelmelfabrik sig for en kapacitetsudvidelse med nye moderne ekstraktionssier. Pilotanlæggets korrigerede elforbrug fra Karup sammenlignet med det nye si-anlæg giver en elbesparelse på beskedne 8 %. Men sammenlignes i stedet med pilotanlæggets elforbrug når det var i drift i Brande uden tilstopningsproblemer udgør besparelsen 40 %.

Her skal dog tilføjes at si-anlægget kun har kørt én kampagne og evt. kan trimmes til at køre mere optimalt.

Resultaterne fra Brande Kartoffelmelfabrik ser så lovende ud at fabrikken påtænker en investering så den ene af fabrikkens 3 produktionslinjer ombygges til hydrocykloner. Hermed opnås mulighed for direkte sammenlignelige elmålinger hvor pumper er korrekt dimensioneret.

Ydermere har en svensk kartoffelmelfabrik vist interesse for måleresultaterne og er interesseret i overtagelse af pilotanlægget for yderligere forsøg i Sverige.

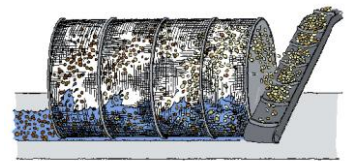
3 Typisk fremstilling af kartoffelmel

3.1 Udgangspunktet: Den rå kartoffel

Det meste af en kartoffel består af vand. Tørstoffet består af stivelse, protein og andre næringsstoffer, cellerester og mineraler. En spisekartoffel vil indeholde 10 - 12 % stivelse, mens en mel-kartoffel (industrikartoffel) indeholder 17 - 21 % stivelse. Jo længere tid, kartofflen får lov at blive i jorden, jo mere stivelse vil den indeholde.

3.2 Omhyggelig vask

Når kartoflerne ankommer til fabrikken bliver de omhyggeligt vasket for sand og jord. Hvis der er sten iblandet kartoflerne fjernes disse også under vaskeprocessen.



Figur 1: Vask af kartofler

3.3 Rivsel

Da stivelseskornerne ligger inde i kartofflens celler, er det nu nødvendigt at åbne cellerne. Dette gøres ved at kartoflerne rives på roterende river med savtakkede klinger. Pga. kartofflernes store vandindhold er konsistensen herefter en flydende væske som kaldes rivsel.

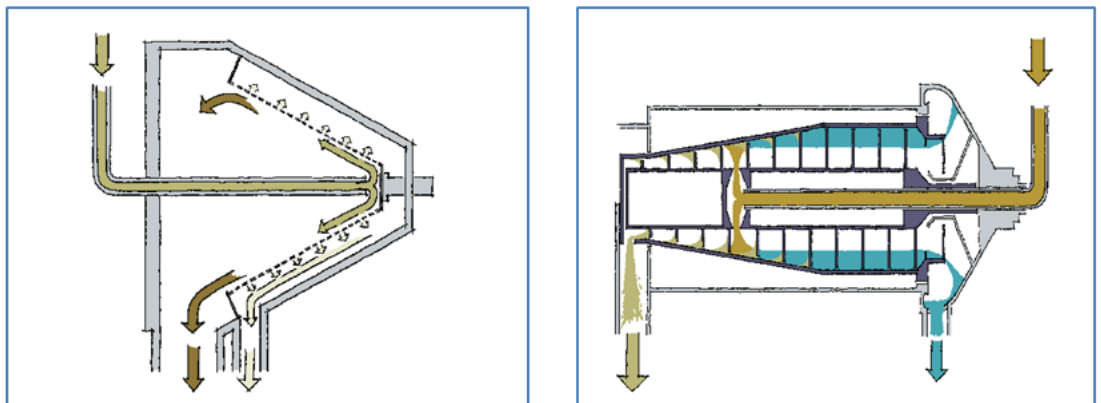
3.4 Separering af væskestrømmen

Rivselstrømmen skal nu separeres i 3 strømme:

- Én væskestrøm som kaldes frugtsaft, hvoraf der kan udvindes protein. Selve frugtsaften kan efterfølgende anvendes som gødning.
- Den anden væskestrøm kaldes pulp, og består af opslæmmet cellemasse. Pulp er meget fiberrig og kan bruges som dyrefoder.
- Den tredje væskestrøm er stivelse og vand.

Frugtsaften frasepareres ofte i dekantere, som er roterende cylindre. Pulp frasepareres ofte i centrifugalsier eller ekstraktionssier.

Om det er frugtsaften eller pulp som først frasepareres varierer fra fabrik til fabrik.

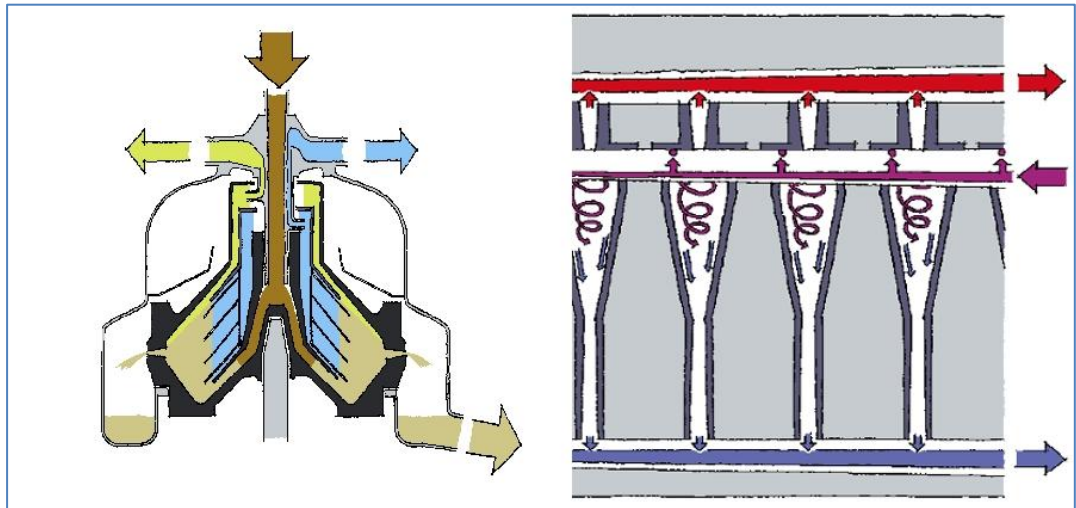


Figur 2: Centrifugalsi og dekanter.

3.5 Raffinering.

Nu skal stivelsen oprenses og opkoncentreres. Det kan gøres med enten en centrifuge, som er udstyret med en tromle, der roterer hurtigt. Den slynger stivelseskornene ud langs separatorens sider, hvor de tages fra, mens væsken tages ud fra separatorens midte.

Alternativt kan væskestrømmen raffineres i hydrocykloner, her er det væsken, der bevæger sig: Den pumpes ind i de kegleformede rør, hvor den på grund af trykket roterer hurtigt rundt. Det er igen centrifugalkraften, der anvendes til separationen, hvor de tunge stivelsespartikler trykkes ud af underløbet, og væsken med fiber føres via overløbet.

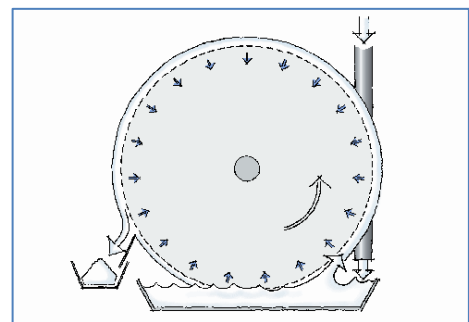


Figur 3: Dyseseparator og hydrocykloner

3.6 Vakuumbilte og tørring.

Nu ligger stivelseskornene i en ca. 50 % opløsning i vand. Denne blanding kaldes stivelsesmælk, og nu skal det meste af vandet fjernes. Første suges noget af vandet ud på roterende vakuumbilte, hvilket får vandindholdet ned på 38 %.

Derefter sendes stivelsen igennem et tørreanlæg, hvor en varm luftstrøm bringer vandindholdet ned på 20 % - nemlig det vandindhold, som det færdige produkt skal have.



Figur 4: Vakuumbilte

3.7 Hvor anvendes kartoffelstivelse?

Kartoffelstivelse indeholder et af naturens største molekyler, og det giver stivelsen nogle specielle egenskaber.

For eksempel kan det bruges, når man fremstiller papir, hvor stivelsen dels bruges som bindelem (virker som lim) i papirmassen, og dels bruges til overfladebehandling af papiret.

I fødevarer- og slik-industrien bruger man stivelsen til at ændre konsistens og klarhed eller påvirke sprødhed og vandindhold. Der anvendes bl.a. kartoffelmel til fremstilling af kager, leverpostej, pølser, chips, vingummi og lakrids.

Medicinal industrien bruger også stivelsen som bindemiddel i tabletter, og vaskemiddelproducenter bruger den til fremstilling af enzymer i vaskepulver.



Figur 5: Fra kartofler til kartoffelmel

4 Eksisterende anlæg.

I Danmark findes der 4 kartoffelmel fabrikker, AKS i Toftlund, AKM i Brande, AKK i Karup og AKV i Langholt. Danmarks produktion af kartoffelmel udgør ca. 8 % af den europæiske produktion.

4.1 Beskrivelse af eksisterende anlæg i Karup

Karup kartoffelmelsfabrik er Danmarks største kartoffelmelsfabrikker. Virksomheden blev grundlagt i 1933 da staten gav bevilling til opstart af 7 kartoffelmelsfabrikker i Danmark.

I dag produceres der i Karup mere end 60.000 ton kartoffelstivelse pr. år. Hele produktionen af kartoffelstivelse produceres i kampagnen som kører fra august til januar.

Når rivslen skal separeres på Karup Kartoffelmelfabrik, frasepareres først pulpen. Dette gøres i store centrifugalsier. Herefter frasepareres frugtsaften, dette gøres i et multicyklon anlæg.

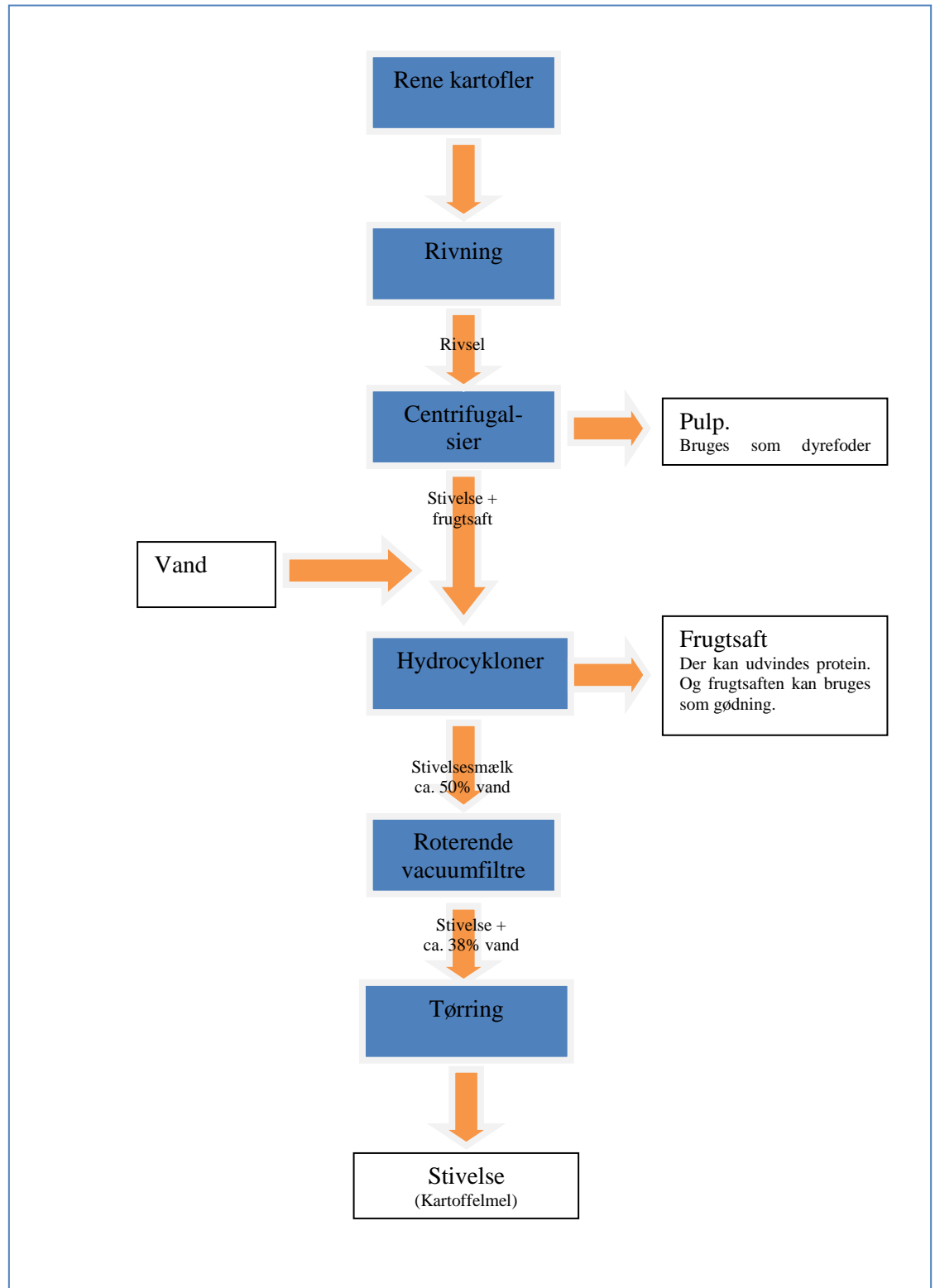
Principdiagrammet på næste side viser en skematisk opbygning af anlægget i Karup.

Produktionsinfo for Karup, data for kampagnen 2007/2008:

| | | | |
|--------------------------------------|---------|-----|-------------------|
| Kartofler (Råmateriale): | 290.400 | Ton | |
| Stivelse | 64.200 | Ton | |
| Pulp | 45.000 | Ton | 13 % tørstof |
| Protein | 2.900 | Ton | |
| Protamylasse (Frugtsaft som gødning) | 14.000 | Ton | 40 – 50 % tørstof |



Figur 6: Luftfoto af Karup Kartoffelmelfabrik. Kilde.: www.kkmel.dk



Figur 7: Eksisterende anlægsopbygning i Karup

4.2 Beskrivelse af eksisterende anlæg i Brande

Andels-Kartoffelmelsfabrikken Midtjylland A.m.b.a. (AKM) i Brande, er etableret i 1917, men udbygget og moderniseret løbende, så fabrikken i dag fremstår som en af de mest moderne og effektive kartoffelmelsfabrikker i verden. Fabrikken ejes af godt 500 andelshavere.

Der produceres i dag i størrelsesordenen 40.000 tons kartoffelstivelse pr. år på AKM, og her produceres der i kampagnen som kører fra august til december.

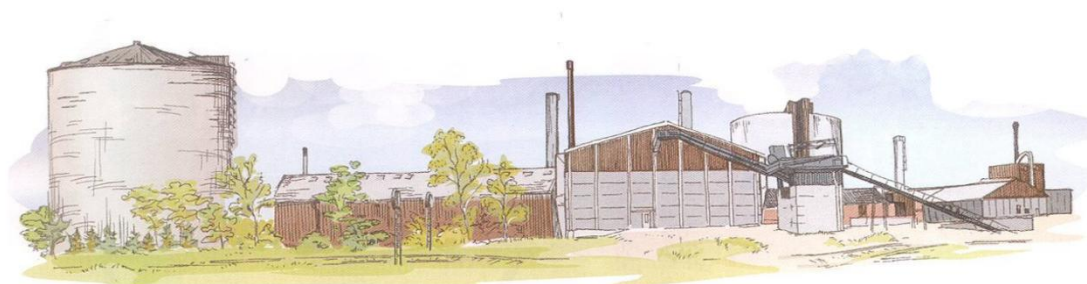
AKM udvinder også proteinet fra kartoflerne og der produceres ligeledes også frugtsaft som anvendes som økologisk gødning på markerne.

Når rivslen skal separeres på Brande Kartoffelmelfabrik, sker det i modsat rækkefølge end i Karup. Først frasepareres frugtsaften i dekantere og herefter frasepareres pulpen i centrifugalsier.

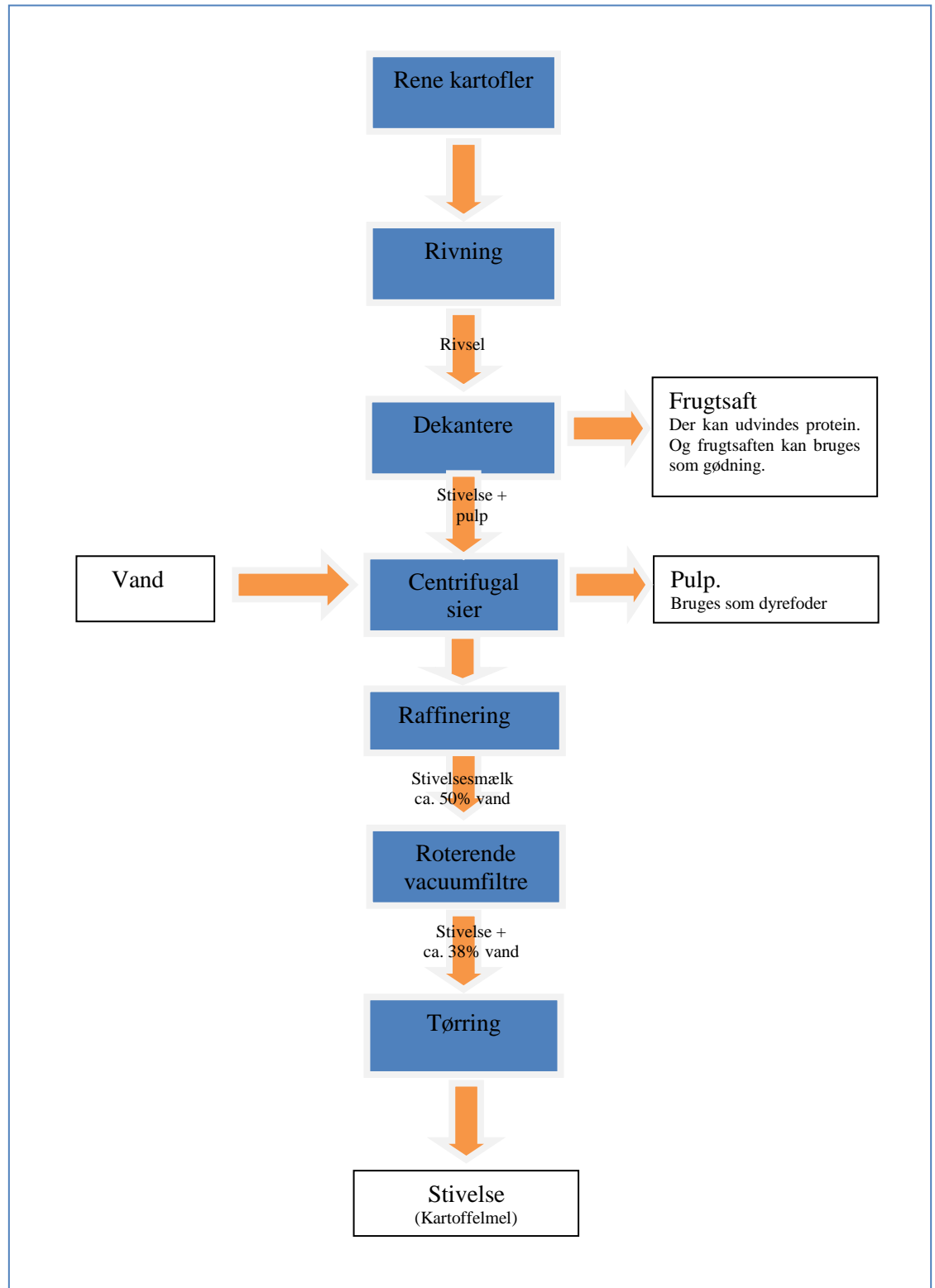
Principdiagrammet på næste side viser en skematisk opbygning af anlægget i Brande.

Produktionsinfo for Brande, data for kampagnen 2007/2008:

| | | |
|----------------------------------|-------------|----------------|
| Kartofler (Råmateriale): | 191.000 Ton | |
| Stivelse | 42.000 Ton | |
| Pulp | 29.500 Ton | 12,5 % tørstof |
| Protein | 1.700 Ton | |
| Kartoffelfrugtvand (som gødning) | 159.840 Ton | 2 % tørstof |



Figur 8: Tegning af Brande Kartoffelmelfabrik. Kilde: www.akm.dk



Figur 9: Eksisterende anlægsopbygning i Brande

5 Beskrivelse af hydrocyklonanlæg.

5.1 Beskrivelse af et cyklonprincip.

Når en væskestrøm, der indeholder tungere partikler, sendes tangentielt ind i en cylinder vil partiklerne i det fremkomne centrifugalfelt bevæge sig ud mod væggen. Dette cyklonprincip har været anvendt i mange år til fjernelse af støvpartikler og væskedråber fra luft. De hertil indrettede gascykloner kaldes almindeligvis blot cykloner.

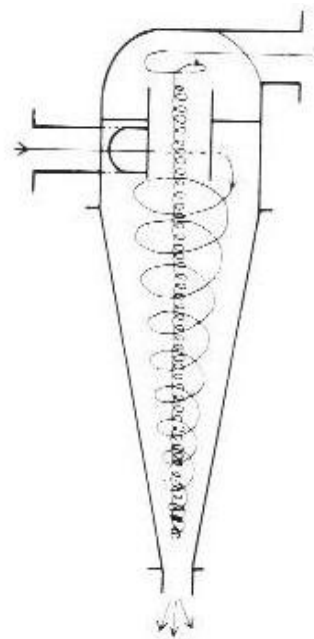
Centripetalaccelarationen i en hydrocyklon er mange gange større end tyngdeaccelerationen. Jo mindre cyklonen er, jo større er centripetal-accelerationen. For at få tilstrækkelig stor kapacitet med små cykloner, må man sædvanligvis anvende et stort antal.

Væskens opholdstid i en hydrocyklon er yderst kort. Den hurtige væskegennemgang kræver et betydeligt indgangstryk på indtil 10 bar. Der skal også være tryk til rådighed til udblæsning gennem bunddysen.

De væsentligste træk ved hydrocyklonens udformning og dens drift er formen og størrelsen, suspensionens indløbshastighed, fordeling af partikelmasse samt tryktab.

Ud over at korrekt dimensionerede cykloner nedsætter elforbruget, har cyklonanlæg også fordele med hensyn til reduceret vedligehold og færre driftsstop.

Med det helt lukkede cyklonanlæg opnås yderligere bedre hygiejniske forhold og reduceret støj.



Figur 10: Hydrocyklon.

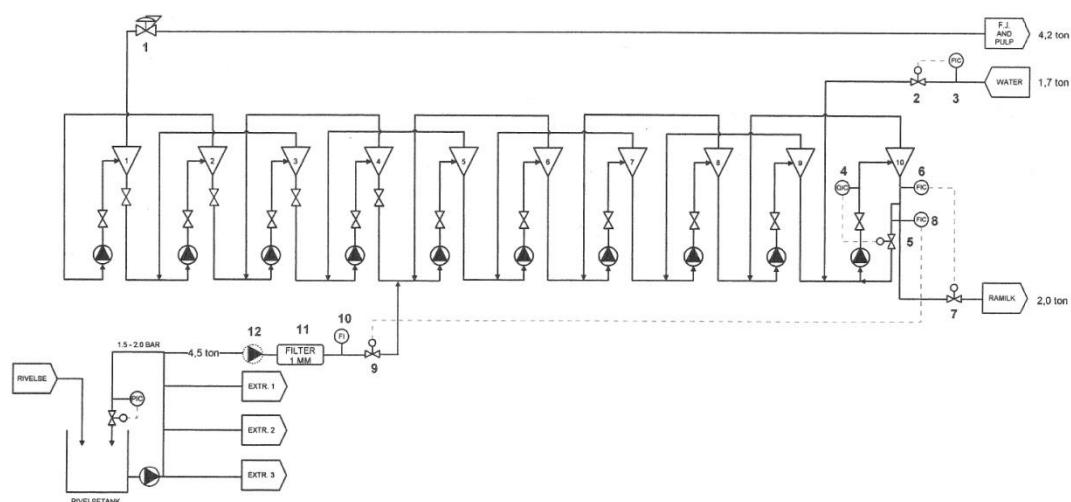
5.2 Beskrivelse af pilotanlægget.

Pilotanlægget til dette projekt er leveret af Vortex SLS i Holland, og har en kapacitet på ca. 8 m³ rivsel pr. time. Hver enkelt cyklon er belastet 100 %, som den vil være under evt. fuldskala anlæg.



Figur 11: Billede af cyklonblok og hele pilotanlægget.

Hydrocyklonerne er anbragt i 20 blokke med 24 stk. cykloner i hver blok. Cyklonernes indvendige diameter er 15 mm, indløbet har en diameter på 3,2 mm og udløbet har diameteren 2 mm. Blokkene er sammensat parvis, så der er 10 trin som rivslen skal ledes igennem for at oprense stivelse og fiber.



Figur 12: Diagram over pilotanlæg. (Bilag 1)

Indløb af rivsel sker umiddelbart inden cyklon par nummer 5. Råmælken som indeholder stivelsen, har en højere densitet end pulpen som indeholder fiber, og ledes derfor via underløbet, mod højre i ovenstående diagram og løber gennem cyklonpar nummer 5 til 10.

Pulpen derimod føres ud af overløbet på cyklonerne, og ledes dermed mod venstre i ovenstående diagram, og skal passere igennem cyklonpar nummer 5 til 1.

Når rivslen ledes ind i cyklonpar nr. 5 sker oprensningen jo ikke kun i dette cyklonpar. Når råmælken ledes fra cyklonpar nummer 5 til nummer 6 vil det indeholde en lille mængde fiber, som så vil blive forsøgt frasepareret i cyklonpar nummer 6. Råmælken fra cyklonpar nummer 6 vil fortsat indeholde lidt fiber, som vil blive forsøgt frasepareret i cyklonpar nummer 7 osv.

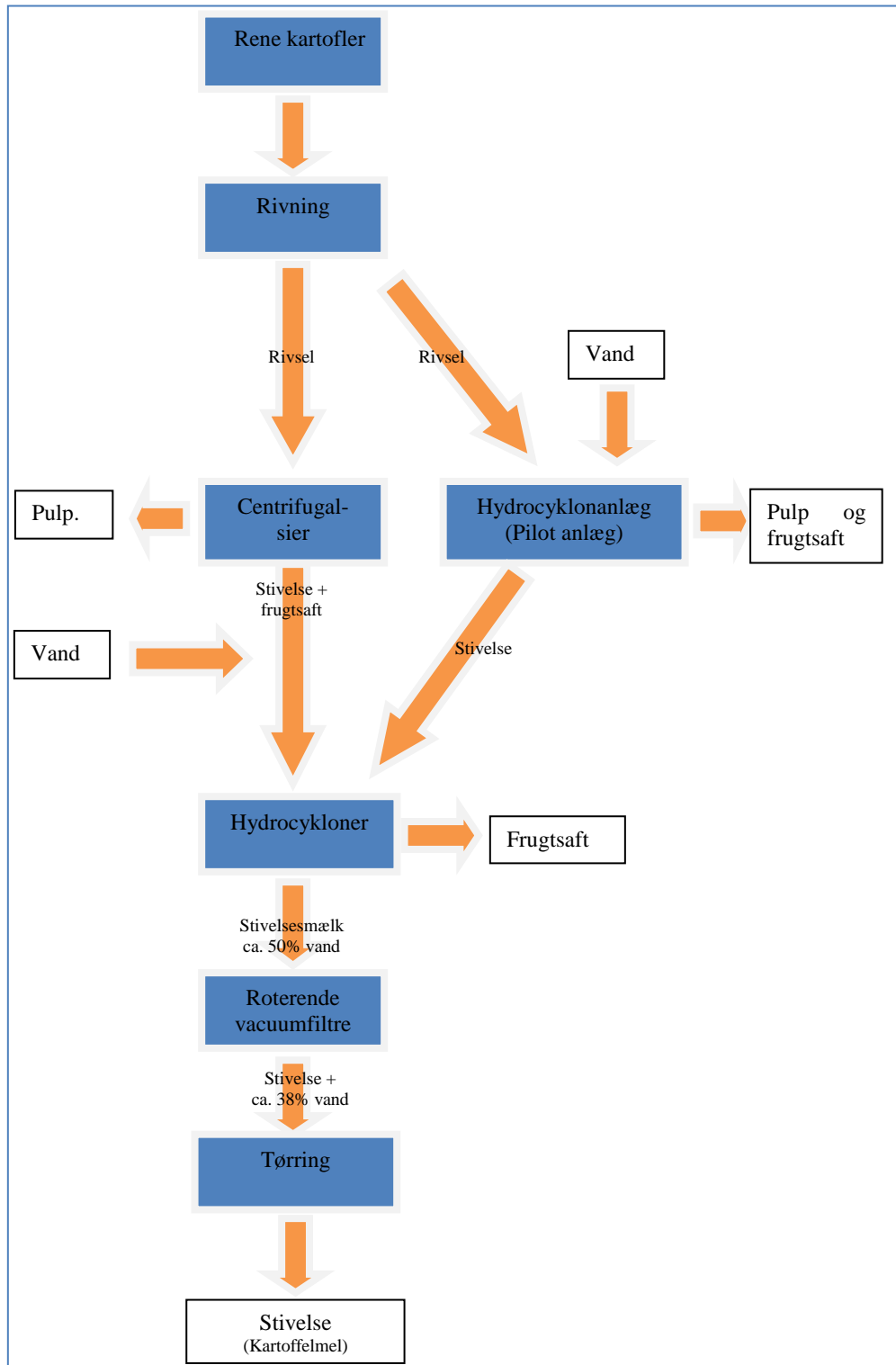
På samme måde vil pulpen som føres fra overløbet i cyklonpar nummer 5 indeholde lidt stivelse, som vil blive forsøgt frasepareret i cyklonpar nummer 4, og efterfølgende forsøgt frasepareret i cyklonpar nummer 3 osv.

Før hvert cyklonpar er anbragt en pumpe, med en effekt på 7,5 kW. Disse pumper er overdimensionerede og vil køre med dårlige virkningsgrader, men er valgt pumper ud fra betragtningen om at det skulle være et økonomisk acceptabelt anlæg og at vi relativt nemt vil kunne kompensere for virkningsgraden.



Figur 13: Hydrocykloner.

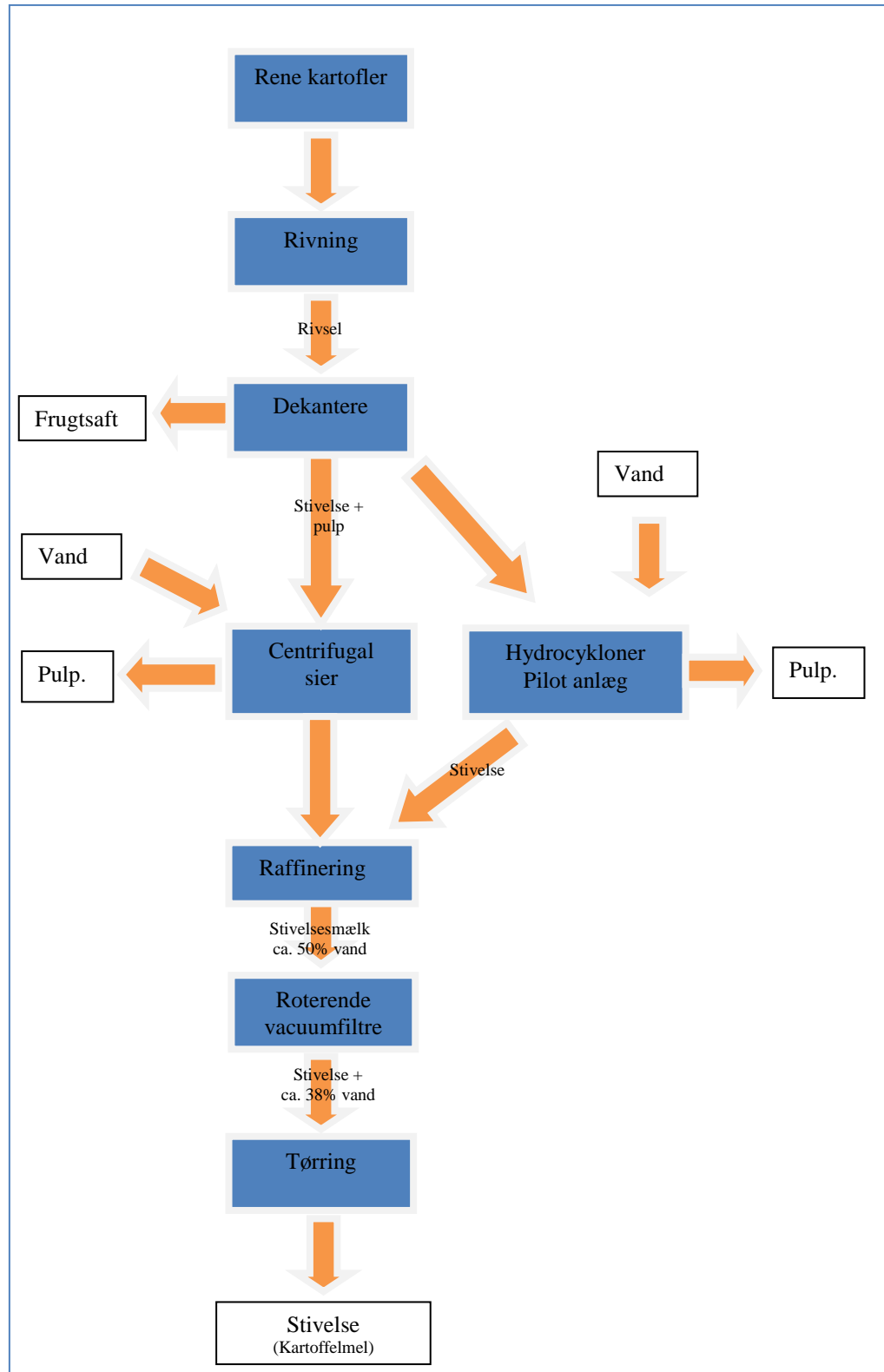
5.3 Pilotanlæggets placering i det eksisterende anlæg, Karup.



Figur 14: Pilotanlæggets placering i den eksisterende produktion, Karup.

Pilotanlægget blev i Karup placeret så rivslen blev ledt direkte ind i hydrocyklonerne, hvor så pulpen og frugtsaften blev sorteret fra. Ved et evt. fuldskala anlæg kunne de to cyklonafdelinger, både pilotanlægget og de eksisterende, sammenbygges, så der bare var ét cyklonanlæg som separerede rivslen i stivelsesmælk, pulp og frugtsaft.

5.4 Pilotanlæggets placering i det eksisterende anlæg, Brande.



Figur 15: Pilotanlæggets placering i den eksisterende produktion, Brande.

I modsætning til opbygningen i Karup, bliver rivslen i Brande først sendt gennem frugtsaftdekantere, hvorefter det ledes ind i hydrocyklonerne og pulpen frasepareres.

6 Drift af pilotanlægget.

Projektets hovedformål var at undersøge muligheder for at opnå stabil drift, et lavere energiforbrug og en øget udnyttelse af stivelsen, ved at anvende hydrocykloner til separeringsprocessen.

6.1 Pilotanlægget i Karup.

Fra forprojektet 337-008, hvor pilotanlægget kørte på Karup Kartoffelmelfabrik i kampagnen 2006/2007 havde vi erfaringer med, at det var svært at opnå en stabil drift, idet kartofflens rodstreng, blokerede indløbet til hydrocyklonerne.

Vi var derfor klar over at der inden kampagnen 2007/2008, skulle monteres en eller anden form for filtrering på pilotanlægget. Derfor blev der umiddelbart efter fødepumpen monteret et gennemløbsfilter med 3 mm lysning, og efterfølgende en maceratorsnitte (kødhakker) for findeling af eventuelle rester af rodstreng.



Men igennem hele kampagnen 2007/2008 har vi alligevel haft store udfordringer med at undgå tilstopning af hydrocyklonerne. Det er i cyklonpar nummer 5, som er indløbet, at der har været størst problemer med tilstopning. Det er fortsat kartofflens rodstreng, som selv efter snitning med macerator fortsat blokerer indløbet. Der er igennem hele kampagnen afprøvet forskellige tiltag som skulle mindske risikoen for tilstopning, bl.a.

- Montering af et ekstra filter efter fødepumpen.
- Lysning i filter ændres fra 3 mm til 2 mm.
- Indløb flyttet til cyklonpar 4 (Indløb i par nr. 6 afprøvet i kampagnen 2006/2007).
- Flytning af en cyklonblok fra nr. 10 til nr. 5. Hermed er der 3 cyklonblokke ved indløb i nr. 5.
- Ændring til større radius på indløbet til de enkelte hydrocykloner.

Men ingen af ovennævnte tiltag har løst problemet med tilstopning fuldstændig. I kampagnen 2006/2007 kunne der køres i intervaller på 1 – 2 dage mellem hver rensning af cyklonerne. I slutningen af kampagnen 2007/2008 kunne der køres i intervaller på 4 - 6 dage mellem hver rensning.

Ydermere har der været problemer med slitage af de enkelte hydrocykloner, på grund af sandindholdet i rivslen. De nuværende hydrocykloner er fremstillet i et nylonmateriale, som ikke kan holde til en hel kampagne. Når cyklonerne slides øges mængden af stivelse i pulpen.

Karup kartoffelmelfabrik står på dette tidspunkt i projektførløbet og skal tage stilling til en kapacitetsforøgelse på fabrikken. Og da der fortsat er problemer med at få cyklonanlægget til at køre uden tilstopninger vælger de den sikre løsning og køber nyt sianlæg.

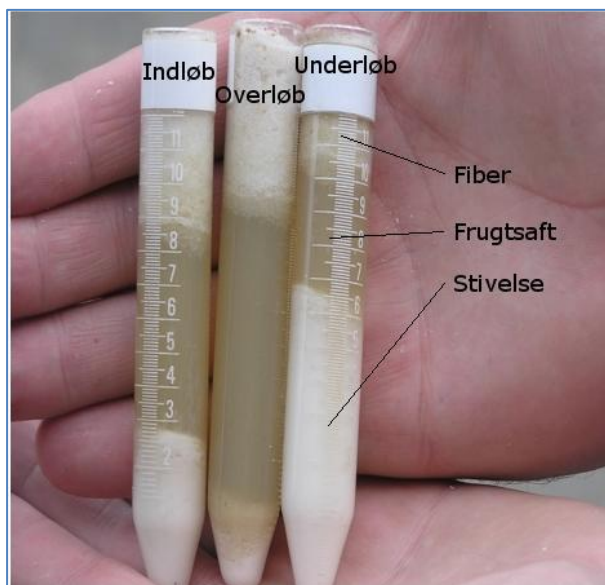
Projektgruppen beslutter derfor at flytte pilotanlægget til kartoffelmelfabrikken AKM i Brande, for at teste anlægget her i kampagnen 2008/2009.

6.2 Pilotanlægget i Brande.

I Brande blev der næsten startet op med samme opbygning af pilotanlægget som i Karup, eneste forskel var, at der nu i Brande blev anvendt en shearpump foran pilotanlægget i stedet for maseratorsnitteren.

En shearpump er i princippet en centrifugalpumpe, men her er de traditionelle skovlhjul erstattet af et rotor/stator-system som opererer med rotorspids hastigheder op til ca. 40 m/s. Dette medfører en mere homogen konsistens af det fluidum som passerer igennem pumpen.

Vi prøvede efterfølgende at køre bypass uden om shearpumpen, og her kunne vi så igen se at der var tilstopning af cyklonerne. Derfor kunne vi konkludere at en shearpump foran cyklonerne løser problemet med tilstopning. Og at den anderledes opbygning af eksisterende anlæg tilsyneladende ikke har nogen indflydelse.



Figur 16: Visuel vurdering af separationen i hydrocykloner.

7 Måleresultater og analyser

Der er i kampagneperioden målt på pilotanlæggets driftstilstand, hvor anlæggets elforbrug er fastlagt, for at sammenligne med fabrikkernes eksisterende produktionsanlæg.

Der er ligeledes i kampagne perioderne udtaget prøver af pulpen for at fastlægge hvor meget stivelse der føres med pulpen i stedet for med stivelsesmælken.

7.1 Usikkerhed/afvigelser.

I forbindelse med besøg er der foretaget målinger og aflæsninger af monteret udstyr:

- Måling af elforbrug på eksisterende anlæg
- Måling af elforbrug på pilotanlæg
- Aflæsning af tryk på manometre, monteret på pilotanlæg
- Aflæsning af flow på dataopsamlingen.

Anvendt måleudstyr:

Til måling af elforbruget er anvendt en NanoVIP Plus.

Vi har vurderet målingerne og aflæsningerne til at have følgende unøjagtighed:

| | | |
|------------|------------------------|--------|
| EL måling | NanoVIP Plus | ± 1 % |
| Flowmåling | Monteret dataopsamling | ± 10 % |
| Trykmåling | Monterede manometre | ± 10 % |

Der er relativ stor usikkerhed på flowmålingen. Det skyldes at flowet godt kan svinge lidt og at det derfor er muligt at der er en afvigelse mellem det aktuelt aflæste flow, og det flow som var til stede under elmålingen, selvom der er kort tid mellem aflæsningerne.

Usikkerhed på NanoVIP Plus er oplyst fra leverandøren til at være ± 0,5 %, og hvis klemmen medregnes er usikkerheden maksimalt ± 1 %.

Usikkerheden på aflæsning af manometre er sat til en halv digit.

$$\text{Summeret Usikkerhed} = \sqrt{0,01^2 + 0,10^2 + 0,10^2} = 0,14 = \pm 14\%$$

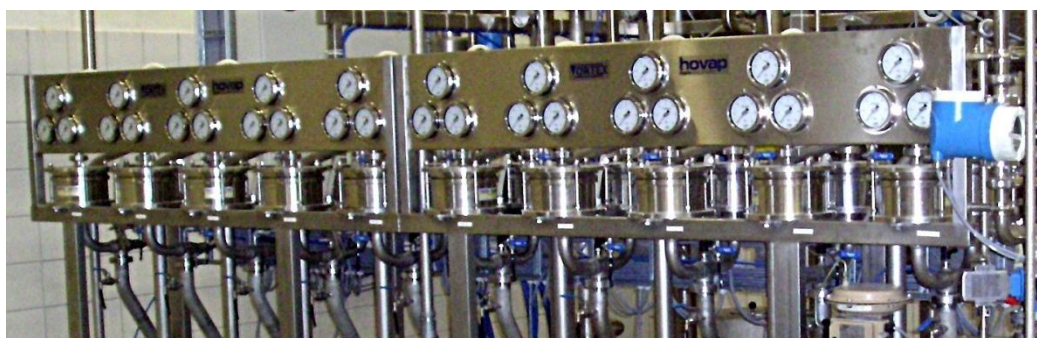
7.2 Tryktab over cyklonerne

Der er kørt med lidt forskellige driftsparametre i hhv. Karup og Brande, primært hvad flow angår. Dette har medført en lille ændring i tryktabet som ses på henholdsvis figur 17 og 19.

Vi har aflæst tryktabet over hver cyklonblok, mens anlægget kørte med 15 mm cykloner. Tryktabet har indflydelse på pumpernes elforbrug.

| | Indløb [bar] | Overløb [bar] | Underløb [bar] | Tryktab [bar] |
|----------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|
| Cyklon blok 1 | 4,2 | 1,8 | 2,5 | 1,7 |
| Cyklon blok 2 | 4,4 | 1,2 | 2,5 | 1,9 |
| Cyklon blok 3 | 5,2 | 2,4 | 3,7 | 1,5 |
| Cyklon blok 4 | 5,5 | 2,5 | 3,8 | 1,7 |
| Cyklon blok 5 | 5,4 | 3,1 | 3,8 | 1,6 |
| Cyklon blok 6 | 6,0 | 2,6 | 3,3 | 2,7 |
| Cyklon blok 7 | 6,1 | 3,6 | 4,8 | 1,3 |
| Cyklon blok 8 | 6,1 | 3,3 | 3,9 | 2,2 |
| Cyklon blok 9 | 7,0 | 4,3 | 4,6 | 2,4 |
| Cyklon blok 10 | 6,2 | 3,8 | 4,1 | 2,1 |

Figur 17: Tryktabet målt i Karup.



Figur 18: Foto af manometre på cyklonanlægget, placeret i Karup.

| | Indløb [bar] | Overløb [bar] | Underløb [bar] | Tryktab [bar] |
|----------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|
| Cyklon blok 1 | 4,0 | 1,9 | 2,4 | 1,6 |
| Cyklon blok 2 | 4,2 | 1,0 | 1,5 | 2,7 |
| Cyklon blok 3 | 4,6 | 1,9 | 2,5 | 2,1 |
| Cyklon blok 4 | 4,4 | 1,4 | 1,7 | 2,7 |
| Cyklon blok 5 | 4,6 | 1,8 | 2,0 | 2,6 |
| Cyklon blok 6 | 4,6 | 1,1 | 1,6 | 3,0 |
| Cyklon blok 7 | 4,4 | 1,9 | 2,2 | 2,2 |
| Cyklon blok 8 | 4,2 | 1,6 | 2,1 | 2,1 |
| Cyklon blok 9 | 5,2 | 2,2 | 2,7 | 2,5 |
| Cyklon blok 10 | 6,2 | 2,7 | 3,3 | 2,9 |

Figur 19: Tryktabet målt i Brande.

7.3 Mængde af stivelse i pulpen

Det er fordelagtigt at optimere på oprensningen af stivelse, frugtsaft og fibre. Jo mindre stivelse der føres med pulpen, jo mere stivelse er der i stivelsesmælken til fremstilling af kartoffelstivelse.

Analyser af pulpen fra Karup er både foretaget på laboratorierne på Karup Kartoffelmelsfabrik og på AKV Langholt. Analyserne fra Brande er analyseret på Brande Kartoffelmelsfabrik, AKV Langholt og på KMC's laboratorie (Kartoffelmelcentralen)

Mængden af stivelse er angivet i forhold til mængden af tørstof i pulpen, hermed er der så korrigeret for eventuelle afvigelser i vandindholdet.

Pilotanlægget med hydrocykloner kører ikke ens over hele kampagnen. I slidte cykloner, som følge af slid med sand, nedsættes G-påvirkningen på rivslen og oprensningen bliver nedsat.

Analyserne viser at stivelsesindholdet i pulpen fra cyklon anlægget er væsentlig lavere end fra de traditionelle anlæg. Tallene fra de enkelte anlæg er gennemsnitsværdier fra flere målinger.

| | Tørstof i pulp % | Totalstivelse i pulp % |
|----------------------------|------------------------|------------------------------|
| Karup, Eksisterende anlæg | 13,9 | 30,1 |
| Karup, Nyt anlæg | 12,2 | 27,3 |
| Brande, eksisterende anlæg | 19,3 | 31,5 |
| Hydrocyklonanlæg Karup | 5,7 | 17,8 |
| Hydrocyklonanlæg Brande | 3,4 | 9,6 |

Figur 20: Pulpanalyser. Værdier for eksisterende anlæg er fra KMC's årsrapport. Pilotanlæggets værdier er gennemsnitsværdier af analyseresultater.

7.4 Flow gennem anlæg

Pilotanlægget kører lidt forskelligt afhængig af om det var placeret i Karup eller i Brande. Der er beskrevet en lille forskel i trykforholdene, men også flowet igennem cyklonanlægget varierer lidt, og har dermed også indflydelse på elforbruget.

Kurver der viser flow igennem pilotanlægget er vist på bilag 4 og 5.

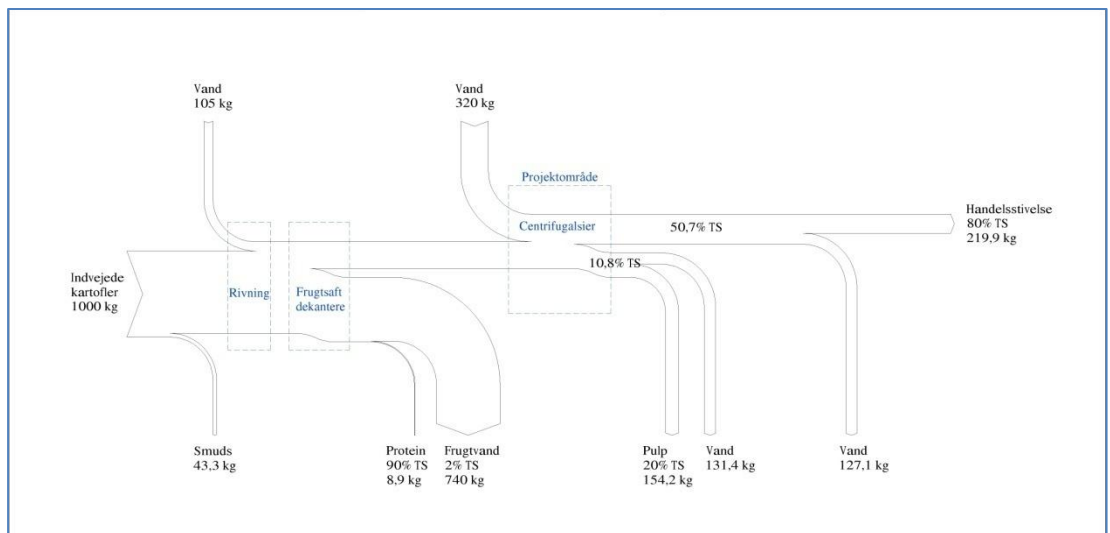
| | Karup | Brande | |
|------------------------------|-------|--------|-------------------|
| Rivsels flow | 6,1 | 6,4 | m ³ /h |
| Vand flow | 2,0 | 2,4 | m ³ /h |
| Råmælk flow | 2,2 | 2,4 | m ³ /h |
| °Be | 18,7 | 21,0 | °Be |
| Handelsstivelse fra Be tabel | 470 | 566 | g/l |
| Handelsstivelse flow | 1,0 | 1,4 | ton/h |
| Samlet flow (Rivsel + vand) | 8,1 | 8,8 | m ³ /h |

Figur 21: Driftsparametre for cyklonanlægget i hhv. Karup og Brande.

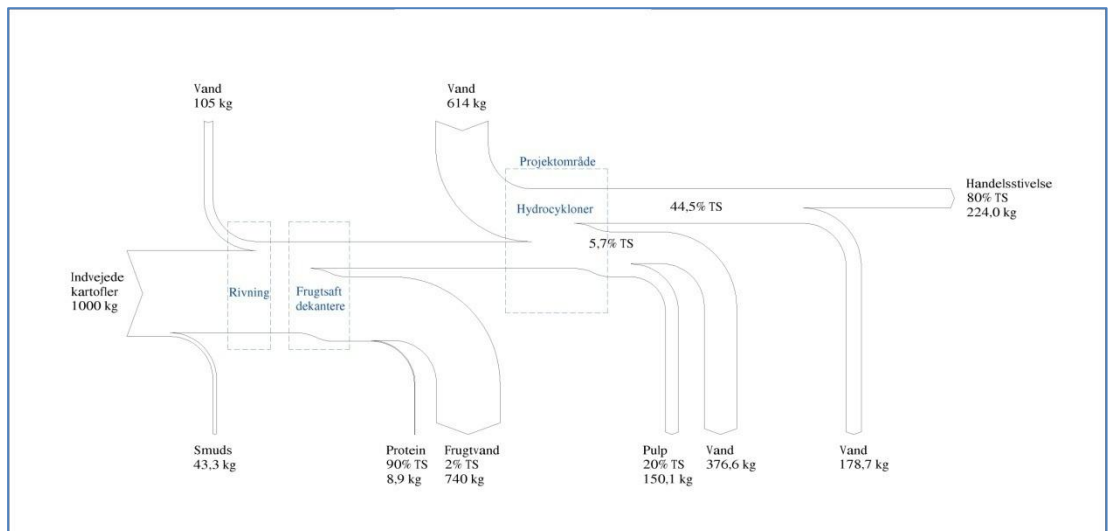
7.5 Masseflow under separering

Ved separering med cykloner, udnyttes en større andel af stivelsen, idet mængden af stivelse i pulpen er lavere. Vandmængden i pulpen er til gengæld højere og kræver et øget forbrug til afvanding.

For at vise hvordan flowet ændrer sig er efterfølgende vist et sankey diagram over begge separeringsformer.



Figur 22: Sankey diagram for flowfordeling i anlæg med centrifugalsier. (Bilag 6)



Figur 23: Sankey diagram for flowfordeling i cyklon anlæg. (Bilag 6)

Som det ses af de to diagrammer, produceres der 4,1 kg ekstra handelsstivelse for hvert ton indvejede kartofler. Den øgede vandmængde som skal separeres fra pulpen er markant og derfor er der også indregnet et ekstra elforbrug til denne separering.

Vandmængden der tilsættes på hhv. 320 og 614 kg vand pr. ton indvejede kartofler lyder voldsom, men dette er recirkuleret proces vand og altså ikke identisk med forbruget af rent vand.

Ifølge det grønne regnskab fra Brande kartoffelmelfabrik, bruges der i separeringsprocessen mindre end 66 kg rent vand pr. ton indvejede kartofler.

De ovenstående sankey diagrammer giver et billede af de forskelle der ved de to separeringsprocesser. Til udførelse af diagrammerne er der brugt gennemsnitsværdier fra Brande og Karup, slidte cykloner ville give et mindre stivelses udbytte, helt nye cykloner ville omvendt give en endnu bedre udnyttelse end det viste.

Større sankey diagrammer og angivelse af udregningerne er vist som bilag 6.

7.6 Elforbrug på anlægget i Karup

På Karup Kartoffelmelfabrik, blev der i det tidligere traditionelle si-anlæg brugt 37 kWh pr. ton handelsstivelse til separeringsprocessen.

Ud fra driften af pilotanlægget, målt frem til primo december 2007, målte vi et elforbrug til separering på 16,5 kWh pr. ton handelsstivelse.

Hertil skal så lægges et elforbrug til forrensning og snitning af rivslen med macerator inden det når cyklonanlægget, for at undgå tilstopning.

Yderligere skal påregnes et øget elforbrug til afvanding af pulpen efter hydrocyklonerne, idet denne indeholder mere fugt end fra det traditionelle anlæg. Dette ses af analyseresultaterne i figur 20, hvor tørstof procent før afvander, falder fra 13,9 til 5,7 %.

Nedenfor er vist opgørelsen over elforbruget med hydrocykloner:

| | | |
|---|---|--------------------------|
| <i>Elforbrug, cyklonanlæg</i> | = | <i>16,5 kWh/t</i> |
| <i>Sandcyklon, filter og macerator (Estimeret)</i> | = | <i>6,5 kWh/t</i> |
| <i>Afvanding af Pulp på ekstraktionsi (Estimeret)</i> | = | <i>2,0 kWh/t</i> |
| <u><i>Samlet elforbrug</i></u> | = | <u><i>25,0 kWh/t</i></u> |

Tallene er estimeret ud fra ud fra følgende betragtninger:

- Den senere anvendte shearpump bruger 3,6 kWh/t, derfor har vi estimeret maceratoren til samme niveau, ca. 4 kWh/t.
- Et enkelt cyklontrin , anvendt som sandcyklon med et tryktab på 3 bar vil medføre et øget elforbrug på anslået 1 kWh pr. ton handelsstivelse. Udregning kan ses under afsnittet 8,1.
- Vi har vurderet tryktabet igennem et filter til at være højere end i en cyklon, og har estimeret elforbruget for et filter til ca. 1,5 kWh/ton.

Elforbruget på cyklonanlægget er korrigeret for dårlig pumpevirkningsgrad. Hvordan dette er udregnet er vist under elforbruget på Brande Kartoffelmelfabrik, hvor elmålinger og beregninger er beskrevet mere detaljeret.

7.7 Elforbrug på anlægget i Brande

På Brande Kartoffelmelsfabrik, foretog vi målinger af elforbruget på det traditionelle si-anlæg. Vore to målinger lå på hhv. 396,7 og 407,3 kWh/h, altså et gennemsnit på 402 kWh/h.

Vore oplysninger er at anlægget på dette tidspunkt kørte med et råmælksflow på 125 m³ pr. time og be-grad (°Be) på 4.

°Be på 4 medfører at der er 92 g handelsstivelse pr. liter råmælk, jf. bilag 2.

$$\text{Energiforbrug} = \frac{402 \text{ kWh/h} * 1000000 \text{ g/ton}}{125.000 \text{ l/h} * 92 \text{ g/l}} = 35,0 \text{ kWh/ton}$$

Det er dette elforbrug pr. ton handelsstivelse som pilotanlægget nu skal sammenlignes med.

7.8 Elforbrug på pilotanlægget i Brande

På pilotanlægget blev der foretaget 4 el-målinger, som resulterede i et gennemsnit på 48 kWh/h:

| | | |
|-------------------|-------------|--------------|
| Måling 1 | 47,7 | kWh/h |
| Måling 2 | 47,8 | kWh/h |
| Måling 3 | 48,7 | kWh/h |
| Måling 4 | 47,7 | kWh/h |
| <u>Gennemsnit</u> | <u>48,0</u> | <u>kWh/h</u> |

Med i dette el-forbrug er forbruget til de 10 stk. pumper som er placeret umiddelbart inden cyklonerne, samt en enkelt shearpump som skal homogenisere rivslen inden indløb i cyklonerne.

Shearpumpen separat er målt til 3,6 kWh/h dvs. at der til de 10 identiske pumper er brugt 44,4 kWh/h.

Som grundlag for vore udregninger bruger vi målingerne som er angivet i figur 21.

Pilotanlægget kører med en °Be på 21 hvilket medfører at der er 536 gram handelsstivelse pr. liter af råmælk, jf. bilag 2.

$$\text{Energiforbrug} = \frac{48,0 \text{ kWh/h} * 1.000.000 \text{ g/ton}}{2.400 \text{ l/h} * 536 \text{ g/l}} = 37,3 \text{ kWh/ton}$$

Men dette elforbrug skal kompenseres for pumpernes dårlige virkningsgrad. De pumper der er monteret på pilotanlægget kører langt fra deres optimale driftspunkter, og vi har derfor valgt at beregne og kompensere for deres virkningsgrad.

For at gøre dette har vi været nødsaget til at foretage visse antagelser:

- ⇒ Vi har antaget at det totale flow der er igennem hele cyclonanlægget er lig med rivselsflowet plus mængden af vand der tilsættes, fordelt som et gennemsnit igennem alle cyclonblokke. Flowet vil i princippet variere fra cyclonblok til cyclonblok men dette er ikke medtaget da der ikke var monteret flowmålere mellem hver cyclonblok.

- ⇒ Som trykstigning over pumperne er anvendt summen af de enkelte pumpe trykstigninger. Der er altså regnet som gennemsnit over de 10 blokke, der er ikke regnet virkningsgrader for hver enkelt cyklonblok. Trykstigning over hver enkelt pumpe er aflæst på anlæggets manometre. Jf. bilag 1 vedr. anlægsopbygningen og figur 19 trykforhold i pilotanlæg er trykstigning over eksempelvis pumpe 2, fundet som differencen mellem tryk for indløb cyklon 2 og middelværdien mellem underløb blok 1 og overløb blok 3. Udregning af samlet trykstigning er vist i bilag 3.
- ⇒ Tilgangstrykket fra rivselstank er ikke medtaget da det ikke var kendt, og vandtrykket er skønnet til at være ca. 2,0 bar

Pumpernes gennemsnitlige virkningsgrad kan nu udregnes. Som tilført effekt er anvendt effekten uden shearpumpen, idet denne ikke er medregnet i den samlede trykstigning:

$$\eta_{Total} = \frac{q_v * \Delta p}{P}$$

Hvor

| | | | |
|------------------|----------------------------|---|-----------------------------------|
| P: | Tilført effekt | = | 44.400 W |
| Δp : | Trykstigning over pumperne | = | 2.700.000 Pa (Udregnet i bilag 3) |
| q_v : | Flow gennem pumpe. | = | 0,00244 m ³ /sek |
| η_{Total} : | Total virkningsgraden | | |

$$\eta_{Total} = \frac{0,00244 \frac{m^3}{sek} * 2.700.000 pa}{44.400 W} = 0,15$$

Dette er totalvirkningsgraden for pumpe og motor. Der er ikke monteret frekvensomformer på disse små pumper. Hvis vi antager at motorens virkningsgrad er 0,90 kan vi bestemme pumpens virkningsgrad:

$$\eta_{Pumpe} = \frac{0,15}{0,90} = 0,17$$

Et korrekt dimensioneret anlæg ville aldrig blive opbygget med denne virkningsgrad. Til dette pilotanlæg er valgt pumper ud fra betragtningen at det skulle være et økonomisk acceptabelt anlæg og at vi relativt nemt ville kunne kompensere for virkningsgraden. Vi havde ydermere regnet med at det reelle flow igennem cyklonerne ville have været lidt højere end det endte op med. Anlægget skulle i høj grad også demonstrere evnen til at oprense stivelsen.

Leverandør af pumper til anlægget, Tyco Flow Control i Holland, meddeler at det vil være realistisk med en virkningsgrad på 0,7 for korrekt dimensionerede pumper. Heri er ikke medregnet virkningsgrad på motor og evt. frekvens omformer.

Hermed får vi at det reviderede elforbrug til cyklonanlæggets pumper bliver:

$$P_{korr} = \frac{44,4 kW * 0,17}{0,7 * 0,9} = 12,0 kW$$

Og for at kunne sammenligne elforbruget med forbruget på det traditionelle si-anlæg omregnes elforbruget til kWh pr. ton handelsstivelse. Vi anvender stadig en Be grad på 21 til at omregne flowet, dvs. 536 gram handelsstivelse pr. liter af råmælk.

$$\text{Elforbrug} = \frac{12,0 \text{ kWh/h} * 1.000.000 \text{ g/ton}}{2.400 \text{ l/h} * 536 \text{ g/l}} = 9,4 \text{ kWh/ton}$$

Dette er et ekstremt lavt elforbrug sammenlignet med vore målinger på det traditionelle anlæg. Og for at tallene skal være direkte sammenlignelige er vi nødsaget til at der også skal kompenseres for at der er mere vand i pulpen. Det er en vandmængde som senere i processen skal afvandes eksempelvis på ekstraktionssier. Vi har estimeret at dette elforbrug vil udgøre i størrelsesordenen 2 kWh/t pr. ton handelsstivelse.

| | | |
|--|---|-------------------|
| <i>Elforbrug, cyklonanlæg</i> | = | 9,4 kWh/t |
| <i>Sandcyklon og shearpump (1,0 + 3,6)</i> | = | 4,6 kWh/t |
| <i>Afvanding af Pulp på ekstraktionssi (Estimeret)</i> | = | 2,0 kWh/t |
| <u><i>Samlet elforbrug</i></u> | = | <u>16,0 kWh/t</u> |

8 Elbesparelser

I nedenstående skema er vist elforbruget på pilotanlægget og sammenlignet med de eksisterende anlæg i hhv. Karup og Brande. Med i skemaet er også medtaget det nye si-anlæg som er monteret i Karup før kampagnen 2008/2009.

| | EL forbrug kWh/ton |
|---|-----------------------|
| Karup, Eksisterende anlæg | 37,0 |
| Brande, eksisterende anlæg | 35,0 |
| Eksisterende anlæg, gennemsnit | 36,0 |
| Karup, Nyt anlæg | 27,0 |
| Hydrocyklonanlæg Karup (incl forfilter) | 25,0 |
| Hydrocyklonanlæg Brande | 16,0 |
| Pilotanlæg, gennemsnit | 20,5 |

Figur 24: El forbruget på de forskellige anlæg.

Ovenstående målinger af elforbruget medfører besparelser som udregner herunder:

$$\text{Besparelse, Karup} = \frac{(37,0 \text{ kW} - 25,0 \text{ kW})}{37,0 \text{ kW}} * 100 = 32 \%$$

$$\text{Besparelse, Brande} = \frac{(35,0 \text{ kW} - 16,0 \text{ kW})}{35,0 \text{ kW}} * 100 = 54 \%$$

8.1 Forskelle mellem Karup og Brande

Der er relativ stor forskel på de besparelser som vi har regnet os frem til på hhv. Karup og Brande Kartoffelmelfabrik. Det skyldes flere årsager:

I Brande er der en anderledes anlægsopbygning. Her ledes rivslen først igennem frugtsaftdekantere inden det når til cyklonerne, hvorimod i Karup blev rivslen ledt direkte ind i cyklonerne. Dvs. at det fluidum som der måles på i Brande har en anderledes konsistens end det i Karup.

Da anlægget blev flyttet til Brande valgte vi at montere en shearpump foran cyklonanlægget. Det medførte at der ikke længere var problemer med tilstopning af cyklonerne og derfor er der ikke længere estimeret et filter. De delvis tilstoppede cykloner i Karup har haft en indflydelse på elforbruget.

Under forsøgene har der været stor slitage af cyklonerne. Det skyldes at der fortsat er en del sand som ledes med igennem cyklonerne. Leverandøren Hovap fra Holland mener at det er muligt at fremstille cykloner som ikke er så sårbare med hensyn til sandslitage. Der kan støbes cykloner i et plastmateriale hvor der er indstøbt glas eller keramik. Evt. skal cyklonerne være lidt større og så støbes i aluminium.

Men i vore udregninger af elforbruget har vi medregnet et elforbrug til en sandcyklon.

Et enkelt cyklontrin, anvendt som sandcyklon med et tryktab på 3 bar vil medføre et øget elforbrug på anslået 1 kWh pr. ton handelsstivelse. Se udregning herunder:

$$P_{sandcyklon} = \frac{0,00244 \frac{m^3}{sek} * 300.000 Pa}{0,7 * 0,9 * 0,97} = 1.200 W$$

$$Energiforbrug = \frac{1,2 kWh/h * 1.000.000 g/ton}{2.400 l/h * 536 g/l} = 0,93 kW/ton$$

Resultatvurdering

Fra leverandørerne af pilotanlægget, Vortex SLS og Tyco, var det forventet at et fuldskala anlæg med korrekt dimensionerede pumper kunne komme ned på et elforbrug i størrelsesordenen 15 – 19 kWh/ton handelsstivelse, inklusiv oprensning og elforbrug til ekstra afvanding.

Vores målte elforbrug i Brande, korrigeret for den dårlige pumpe virkningsgrad, ligger i den lavere ende af det forventelige niveau, hvorimod elforbruget målt i Karup ligger lidt over niveauet.

8.2 Økonomisk besparelse

For en kartoffelmelfabrik i en størrelsesorden som AKM i Brande, har vi valgt at beskrive den økonomiske konsekvens af at skifte fra traditionelle si-anlæg og til hydrocykloner i separeringsprocessen.

Vi har regnet på det ekstra provenu som genereres af den ekstra udnyttelse af stivelsesmængden, idet der ikke er samme mængde reststivelse tilbage i pulpen. Og vi har naturligvis medregnet den økonomiske besparelse ved et mindre el-forbrug.

Hydrocykloner kræver meget lidt vedligeholdelse. En typisk kartoffelmel produktion stopper og renses anlægget én gang om ugen i kampagne perioden. Her bliver sjerne åbnet for inspektion, dette vil ikke være nødvendigt for hydrocykloner. Disse kan CIP (Cleaning in Place) renses, så der ligger også en besparelse i selve vedligeholdelsen af et anlæg. Prisen for dette er ikke kendt og kan variere fra produktion til produktion, så dette er ikke medregnet.

Forudsætninger for beregninger:

| | | |
|--|--------|---------|
| Stivelses produktion | 42.000 | Ton/år |
| Pulp produktion | 29.500 | Ton/år |
| El forbrug eksisterende anlæg, fra fig. 24 | 36,0 | kWh/ton |
| El forbrug pilot anlæg, fra fig. 24 | 20,5 | kWh/ton |
| Tørstof procent i pulp, Karup | 13,9 | % |
| Tørstof procent i pulp, Brande | 19,3 | % |
| Tørstof procent i pulp, gennemsnit | 16,6 | % |
| Stivelse i pulp eksisterende anlæg, Karup | 30,1 | % |
| Stivelse i pulp eksisterende anlæg, Brande | 31,5 | % |
| Stivelse i pulp eksisterende anlæg, gennemsnit | 30,8 | % |
| Stivelse i pulp pilot anlæg, Karup | 17,8 | % |
| Stivelse i pulp pilot anlæg, Brande | 9,6 | % |
| Stivelse i pulp pilot anlæg, Gennemsnit | 13,7 | % |
| Handelspris for stivelse | 2,00 | kr/kg |
| El pris | 0,65 | kr./kWh |

Beregninger, øget salg af stivelse:

| | | |
|------------------------------------|------------------|--------|
| Tørstofmængde i pulp: | 4.897 | Ton/år |
| Stivelse i pulp, si-anlæg | 1.508 | Ton/år |
| Stivelse i pulp, hydrocyklon-anlæg | 671 | Ton/år |
| Ekstra stivelse til salg | 837 | Ton/år |
| Ekstra indtjening for stivelse | 1.675.000 | kr/år |

Beregninger, el-besparelse:

| | | |
|--|----------------|--------|
| El forbrug til separation, si-anlæg | 1.512.000 | kWh/år |
| El forbrug til separation, pilot anlæg | 861.000 | kWh/år |
| El besparelse | 651.000 | kWh/år |
| Økonomisk el besparelse | 423.000 | kr./år |

| | | |
|--------------------------|------------------|---------------|
| Samlet besparelse | 2.098.000 | kr./år |
|--------------------------|------------------|---------------|

En samlet besparelse på ca. 2 mio. kroner pr. år skal ses i forhold til den investering som er nødvendig.

Et hydrocyklon anlæg i en størrelse som kan separere 42.000 ton stivelse pr. år, vil overslagsmæssigt ligge i størrelsesordenen 14 mio. kroner. Prisen er vurderet ud fra et tilbud på opførelse af 1/3 anlæg som Brande overvejer at indføre for at teste videre med hydrocykloner.

Et tilsvarende si anlæg, med en produktionskapacitet på 42.000 ton stivelse pr. år vil ligge på ca. 9 mio. kr. Prisen er vurderet ud fra de nye anlægspriser fra Karup kartoffelmelfabrik.

En udskiftning af eksisterende anlæg vil altså have en simpel tilbagebetalingstid på ca. 7 år, men hvis det eksisterende anlæg er slidt og alligevel skal udskiftes, vil ekstra investeringen, for cykloner have en simpel tilbagebetalingstid på ca. 5 år. Udregning af besparelse pr. år kan ses som bilag 7.

En stor del af ekstra indtjeningen på 2 mio. kroner kommer fra den øgede udnyttelse af stivelsen. Denne ekstra udnyttelse forudsætter at cyklonerne ikke er slidte. Der er ikke indregnet en udgift til udskiftning af cykloner, idet leverandøren mener at kunne levere cykloner med indstøbt glas eller keramik, som ikke er så sårbare med hensyn til slid.

8.3 Perspektivering

Fra projekt nr. 337-008 Udvikling af energieffektive hydrocykloner – forprojekt, blev opgjort, at der i Danmark bruges i størrelsesordenen 350.000 MWh/år til separeringsprocesser i forskellige industrier. Vi regner ikke med at alle separeringsprocesser i Danmark kan indføre hydrocykloner og dermed opnå besparelser på op til 50 % af det eksisterende elforbrug.

Men hvis bare 20 % af separeringsindustrien kan skifte fra mekanisk separering til hydrocykloner vil der være et besparelspotentiale på op til 35.000 MWh/år.

9 Barrierer for indførelse af cyklonprincippet

Generelt er der manglende opmærksomhed, eller viden, omkring anvendelsesmulighederne af hydrocykloner.

Leverandører

Leverandørerne i Danmark køber ofte produktet i udlandet og sælger knowhow i samarbejde med leverandøren. Leveringer fra udlandet kan få nogle brugere til at frygte lange leverings-tider ved driftsstop.

Leverandørerne har svært ved at komme med færdige håndfaste prislister. Hydrocykloner er typisk ikke er en standard lagervare, og skal designes til det enkelte produkt og proces. Dette kan afholde brugerne fra at indlede et samarbejde pga. lang tid fra projektstart til færdigt projekt.

Elforbruget bliver en større og større konkurrenceparameter, og dette kan lette på problemerne med manglende interesse.

Udførelsesmæssige barrierer

Pladskrav til hydrocykloner, afhænger af den enkelte produktion, men vil i de fleste tilfælde kræve mindre plads end filtre, centrifuger og sigter.

Det kan i tilfælde være nødvendig at bygge cyklonerne på stedet, af hensyn til transportbelastningen, adgangsveje og andre produktionskrav. Dette kan forstyrre igangværende produktion, eller være umulig af hygiejne eller procestekniske forhold.

Brugernes barrierer

Mange brugere stiller høje krav til hygiejnen i produktionen, her er hydrocyklonen ofte en bedre løsning, end andre separationsprocesser på grund af dens glatte udformning, og korte opholdstid i cyklonen.

Produktkvalitet, er en afgørende faktor for, om man vil benytte hydrocykloner frem for andre separationsmetoder. Udformningen af cyklonen har stor betydning for restproduktets overskud af det rene produkt. Der kan derfor være tilfælde hvor cyklonen ikke kan opfylde brugerens krav.

Vægtfylde af partiklerne som ønskes separeret, må ikke ligge for tæt op af hinanden da de herved vil få samme hastighed i cyklonen, og derved blive sammen. En snæver fordeling af vægtfylden kan udelukke brugen af hydrocykloner. Stor finhed i produktet kan ligeledes begrænse brugen af hydrocykloner, da der er en nedre grænse for partikelstørrelsen som kan udskilles.

Flere hydrocykloner sættes op ved siden af hinanden for at øge kapaciteten. Et stort antal af cykloner kan medføre at anlægsomkostningerne bliver højere end ved valg af andre processer.

Flere hydrocykloner er dog med til at produktionen kan køre videre, selvom enkelte tages ud af linien.

Slitagen på anlægget er afhængig af produktsammensætningen. Levetiden ligger typisk på 10-15 år for anlægget, men selve cyklonerne kan have en kortere levetid pga. slid. Specialforinger eller specielle materialer til hydrocyklonen kan delvis afhjælpe dette problem.

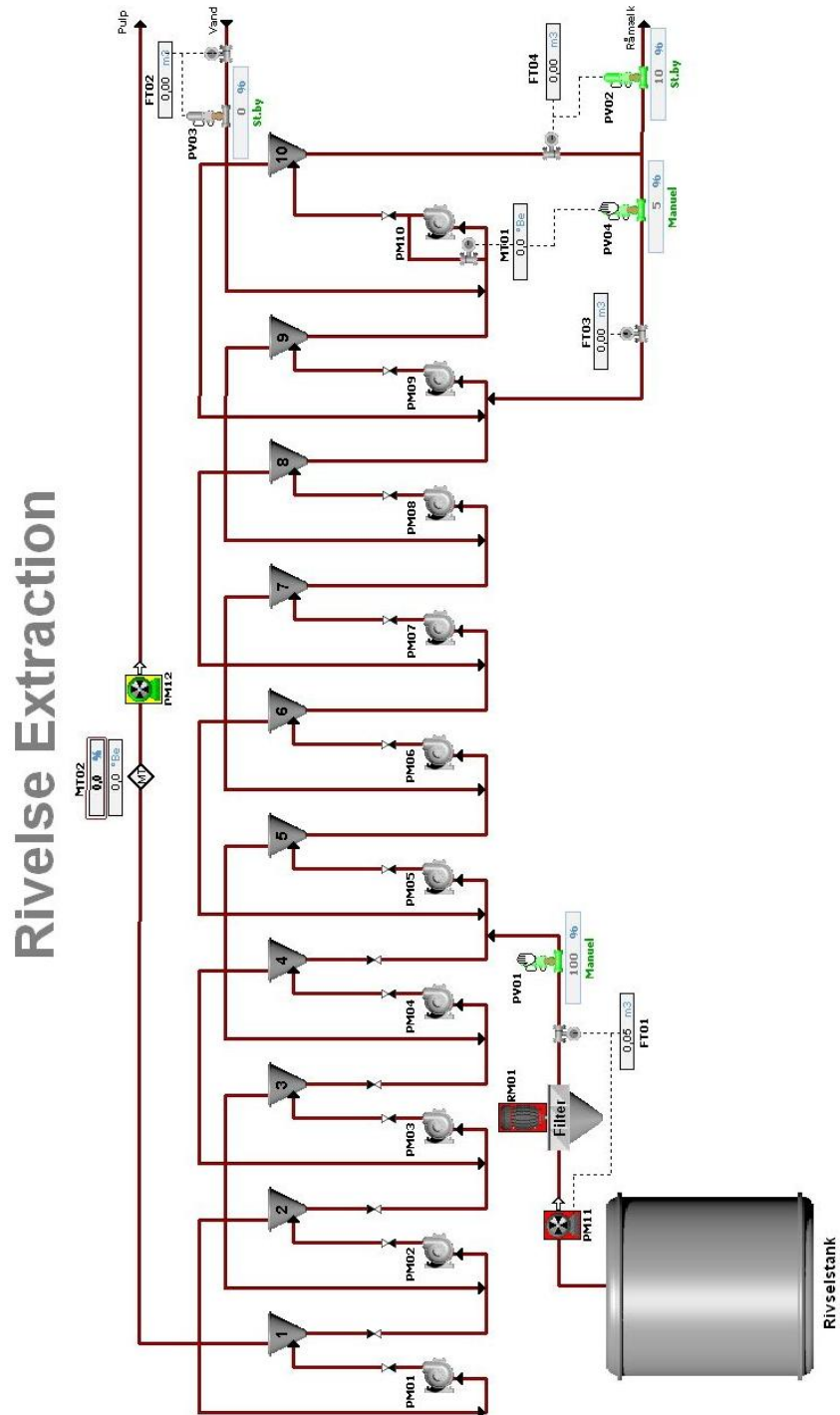
Økonomiske barrierer

Etablerede virksomheder har allerede anlæg til separation. Anlæggene kan være af nyere dato, og endnu ikke afskrevet. Disse virksomheder vil ikke umiddelbart kigge efter nye anlæg, uden at de bliver gjort opmærksomme på fordelene/besparelserne. Eksisterende anlæg som ikke kan sælges er med til at gøre en evt. udskiftning mindre rentabel.

Kerneprocess

Separeringsprocessen kan være en af virksomhedens kerneprocesser, og derfor er der ikke stor risikovillighed i at udforske nye processer når man har erfaring med filtre, centrifuger eller sigter.

Bilag 1 Diagram over pilotanlæg.



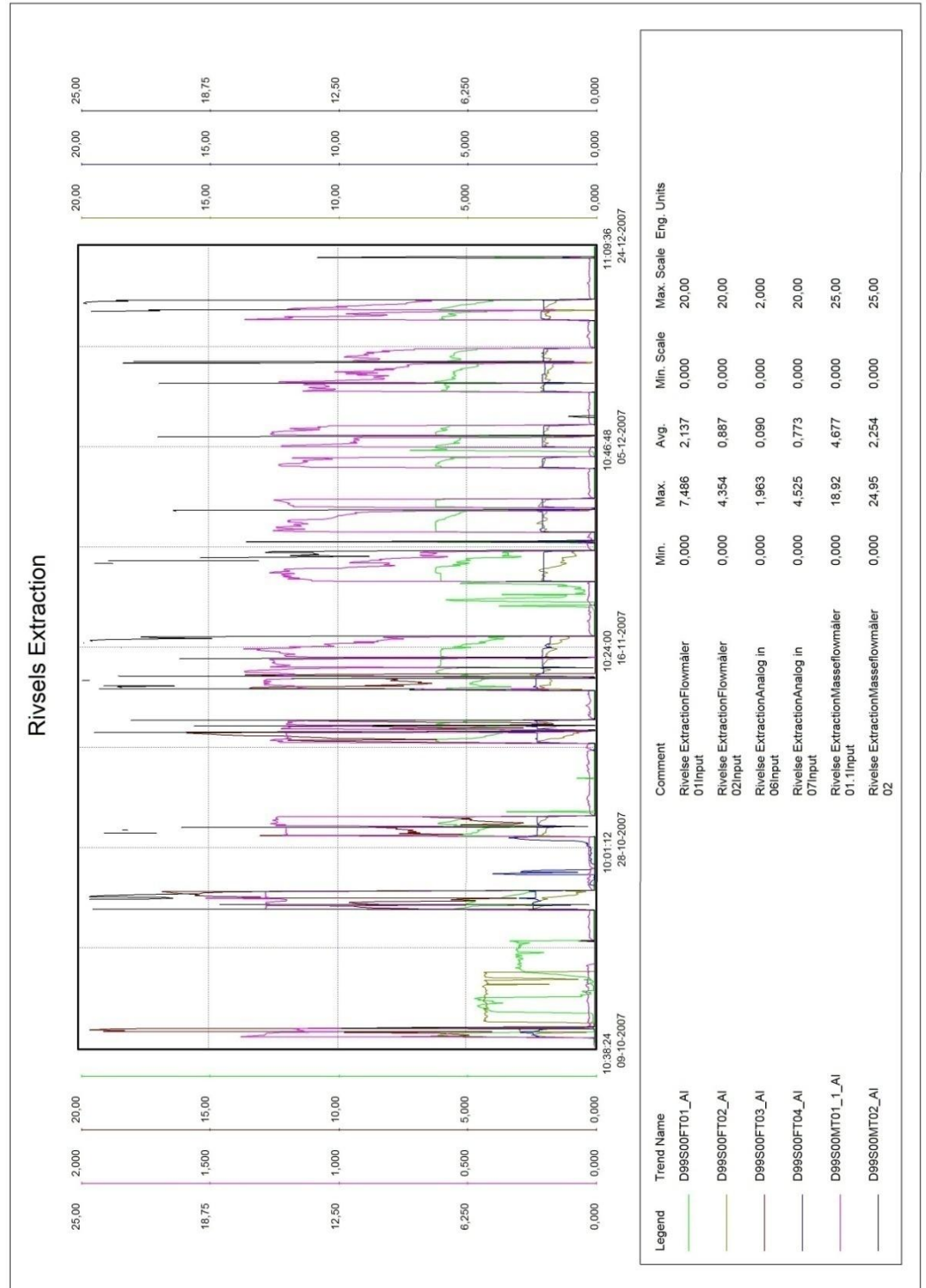
Bilag 2 °Be tabel.

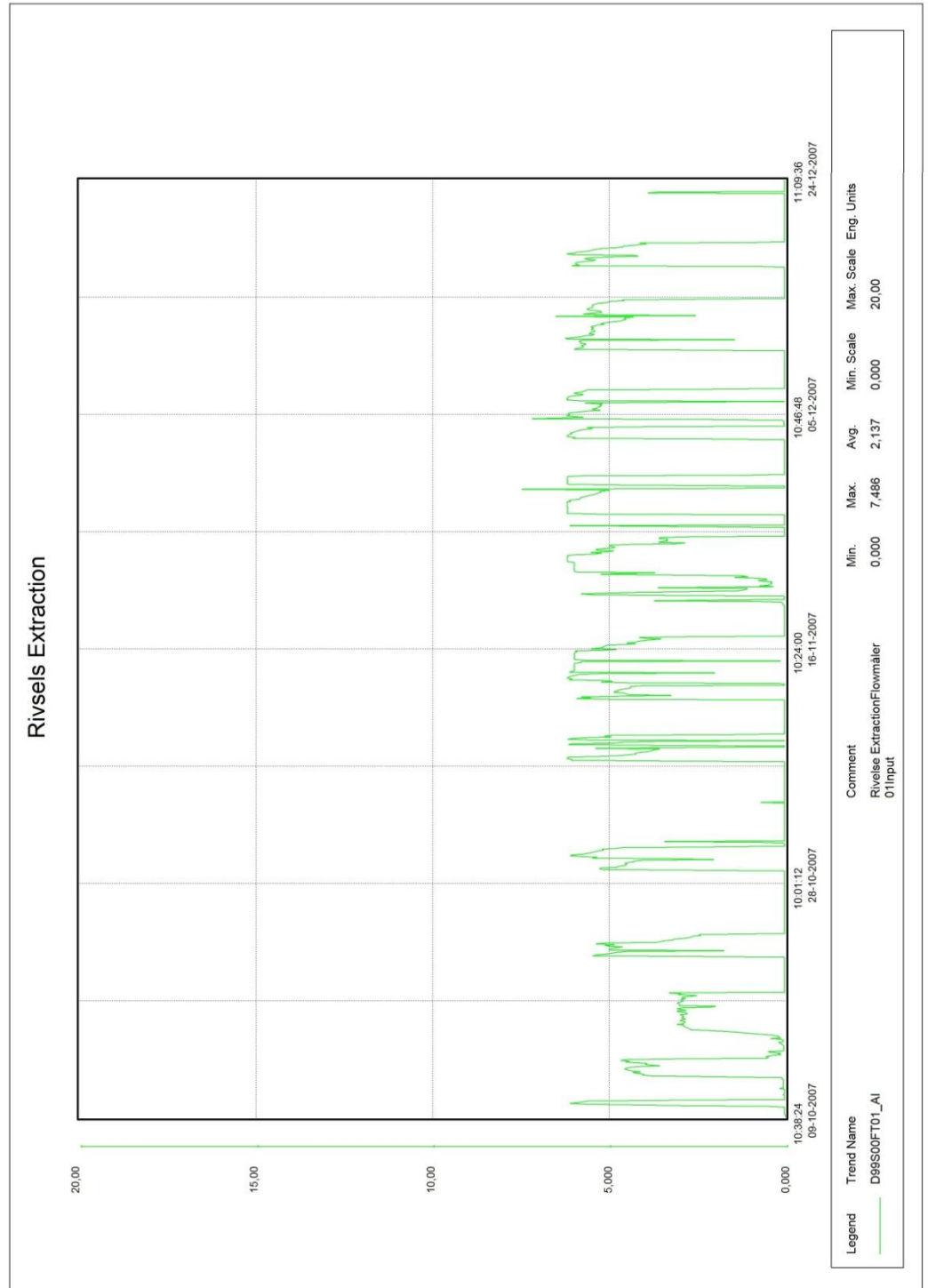
| | | Kommerciel stivelse | | | |
|-------------|--------------|---------------------|------|-----------------------|------|
| °BE 15°C | S.M. 15°C | Tørstof | | Produktion (20% vand) | |
| | | g/l | g/kg | g/l | g/kg |
| 2,0 | 1,014 | 36 | 36 | 45 | 44 |
| 2,5 | 1,017 | 45 | 44 | 56 | 55 |
| 3,0 | 1,021 | 55 | 53 | 68 | 66 |
| 3,5 | 1,024 | 65 | 62 | 80 | 78 |
| 4,0 | 1,029 | 74 | 72 | 92 | 90 |
| 4,5 | 1,032 | 83 | 80 | 103 | 100 |
| 5,0 | 1,036 | 92 | 89 | 115 | 111 |
| 5,5 | 1,040 | 101 | 98 | 127 | 122 |
| 6,0 | 1,043 | 111 | 106 | 139 | 133 |
| 6,5 | 1,047 | 120 | 115 | 150 | 144 |
| 7,0 | 1,051 | 130 | 124 | 162 | 155 |
| 7,5 | 1,055 | 140 | 133 | 174 | 166 |
| 8,0 | 1,059 | 149 | 141 | 186 | 177 |
| 8,5 | 1,062 | 159 | 150 | 199 | 187 |
| 9,0 | 1,066 | 169 | 159 | 211 | 198 |
| 9,5 | 1,070 | 179 | 167 | 223 | 209 |
| 10,0 | 1,074 | 189 | 176 | 236 | 220 |
| 10,5 | 1,078 | 199 | 185 | 248 | 231 |
| 11,0 | 1,078 | 209 | 193 | 261 | 242 |
| 11,5 | 1,086 | 219 | 202 | 274 | 253 |
| 12,0 | 1,090 | 229 | 211 | 287 | 264 |
| 12,5 | 1,095 | 240 | 220 | 300 | 274 |
| 13,0 | 1,099 | 250 | 228 | 313 | 285 |
| 13,5 | 1,103 | 261 | 237 | 326 | 296 |
| 14,0 | 1,107 | 271 | 246 | 339 | 307 |
| 14,5 | 1,112 | 282 | 254 | 353 | 318 |
| 15,0 | 1,116 | 293 | 263 | 366 | 329 |
| 15,5 | 1,120 | 304 | 272 | 380 | 340 |
| 16,0 | 1,124 | 315 | 280 | 393 | 351 |
| 16,5 | 1,129 | 326 | 289 | 407 | 361 |
| 17,0 | 1,133 | 337 | 298 | 421 | 372 |
| 17,5 | 1,138 | 348 | 307 | 435 | 383 |
| 18,0 | 1,142 | 359 | 315 | 449 | 394 |
| 18,5 | 1,147 | 371 | 324 | 463 | 405 |
| 19,0 | 1,151 | 382 | 333 | 478 | 416 |
| 19,5 | 1,156 | 394 | 341 | 492 | 427 |
| 20,0 | 1,160 | 405 | 350 | 507 | 438 |
| 20,5 | 1,165 | 417 | 359 | 521 | 448 |
| 21,0 | 1,170 | 429 | 367 | 536 | 459 |
| 21,5 | 1,174 | 441 | 376 | 551 | 470 |
| 22,0 | 1,179 | 453 | 385 | 566 | 481 |
| 22,5 | 1,184 | 465 | 394 | 581 | 492 |
| 23,0 | 1,189 | 477 | 402 | 596 | 503 |
| 23,5 | 1,194 | 490 | 411 | 612 | 514 |
| 24,0 | 1,199 | 502 | 420 | 627 | 525 |
| 24,5 | 1,204 | 515 | 428 | 643 | 535 |
| 25,0 | 1,209 | 527 | 437 | 659 | 546 |

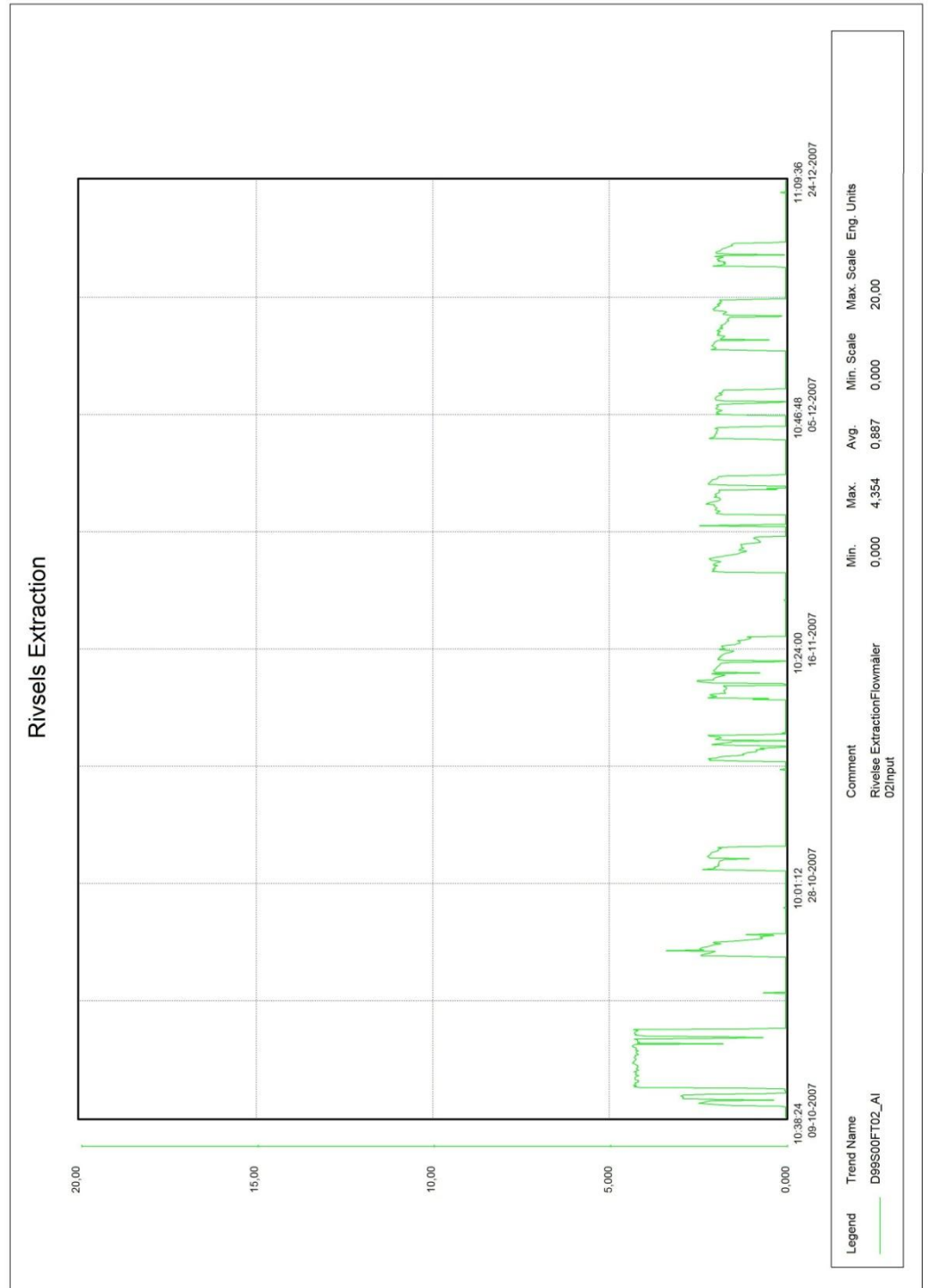
Bilag 3 Trykstigning over pumper.

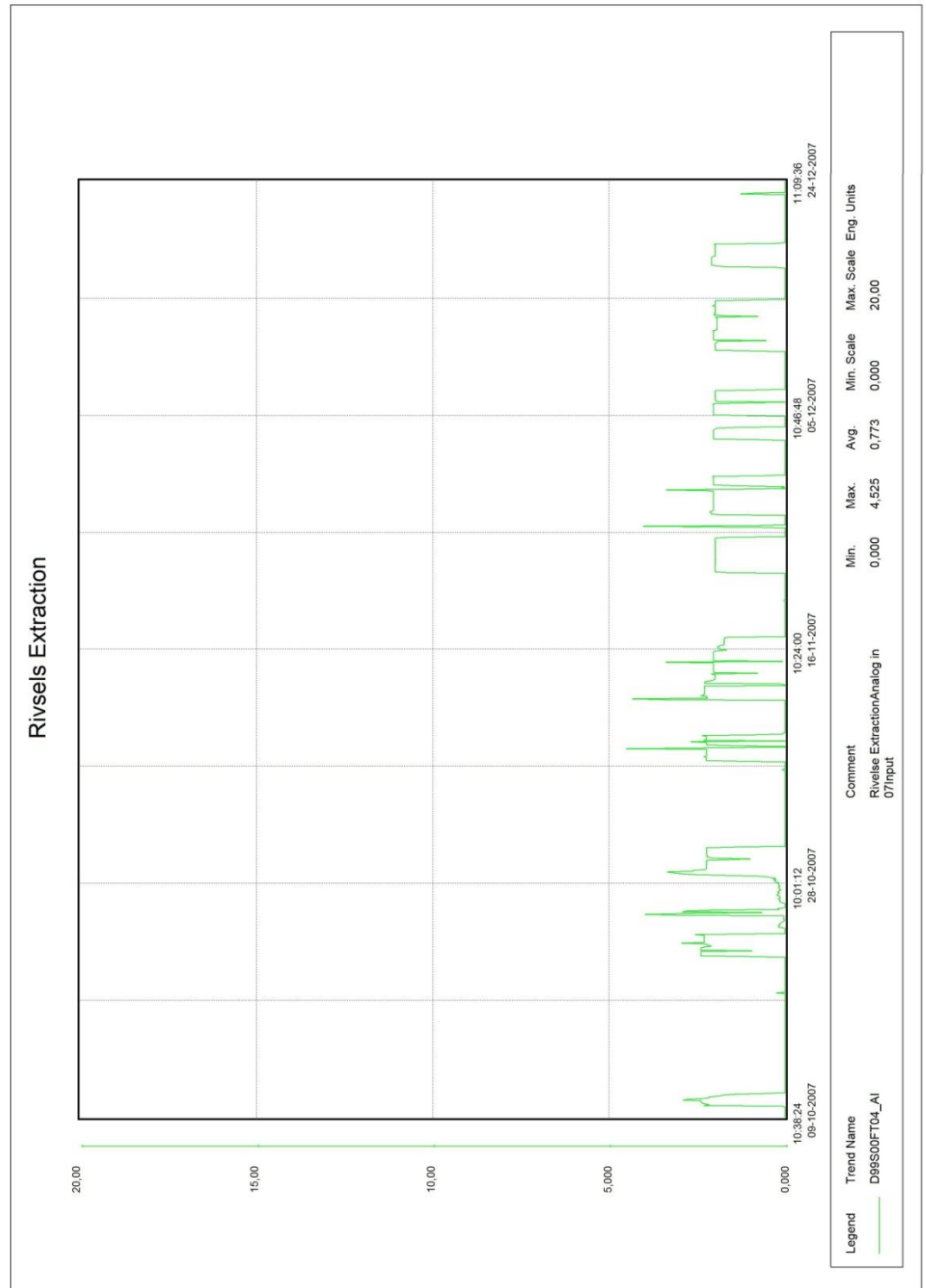
| | Tryk før pumpe | | Tryk efter pumpe | | Trykstigning Bar | |
|-------------------------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|---------------------|-----|
| | | Bar | | Bar | | |
| Pumpe 1 | Overflow cyklon 2 | 1,0 | Fødetryk cyklon 1 | 4,0 | 3,00 | |
| | Middel | 1,0 | | 4,0 | | |
| Pumpe 2 | Underflow cyklon 1 | 2,4 | Fødetryk cyklon 2 | 4,2 | 2,05 | |
| | Overflow cyklon 3 | 1,9 | | | | |
| | Middel | 2,2 | | | | 4,2 |
| Pumpe 3 | Underflow cyklon 2 | 1,5 | Fødetryk cyklon 3 | 4,6 | 3,15 | |
| | Overflow cyklon 4 | 1,4 | | | | |
| | Middel | 1,5 | | | | 4,6 |
| Pumpe 4 | Underflow cyklon 3 | 2,5 | Fødetryk cyklon 4 | 4,4 | 2,25 | |
| | Overflow cyklon 5 | 1,8 | | | | |
| | Middel | 2,2 | | | | 4,4 |
| Pumpe 5 | Underflow cyklon 4 | 1,7 | Fødetryk cyklon 5 | 4,6 | 3,20 | |
| | Overflow cyklon 6 | 1,1 | | | | |
| | Middel | 1,4 | | | | 4,6 |
| Pumpe 6 | Underflow cyklon 5 | 2,0 | Fødetryk cyklon 6 | 4,6 | 2,65 | |
| | Overflow cyklon 7 | 1,9 | | | | |
| | Middel | 2,0 | | | | 4,6 |
| Pumpe 7 | Underflow cyklon 6 | 1,6 | Fødetryk cyklon 7 | 4,4 | 2,80 | |
| | Overflow cyklon 8 | 1,6 | | | | |
| | Middel | 1,6 | | | | 4,4 |
| Pumpe 8 | Underflow cyklon 7 | 2,2 | Fødetryk cyklon 8 | 4,2 | 2,00 | |
| | Overflow cyklon 9 | 2,2 | | | | |
| | Middel | 2,2 | | | | 4,2 |
| Pumpe 9 | Underflow cyklon 8 | 2,1 | Fødetryk cyklon 9 | 5,2 | 2,80 | |
| | Overflow cyklon 10 | 2,7 | | | | |
| | Middel | 2,4 | | | | 5,2 |
| Pumpe 10 | Underflow cyklon 9 | 2,7 | Fødetryk cyklon 10 | 6,2 | 3,85 | |
| | Vandtryk | 2,0 | | | | |
| | Middel | 2,4 | | | | 6,2 |
| Samlet trykstigning for alle pumper | | | | | 27,75 | |

Bilag 4 Driftskurver over 2½ måned.

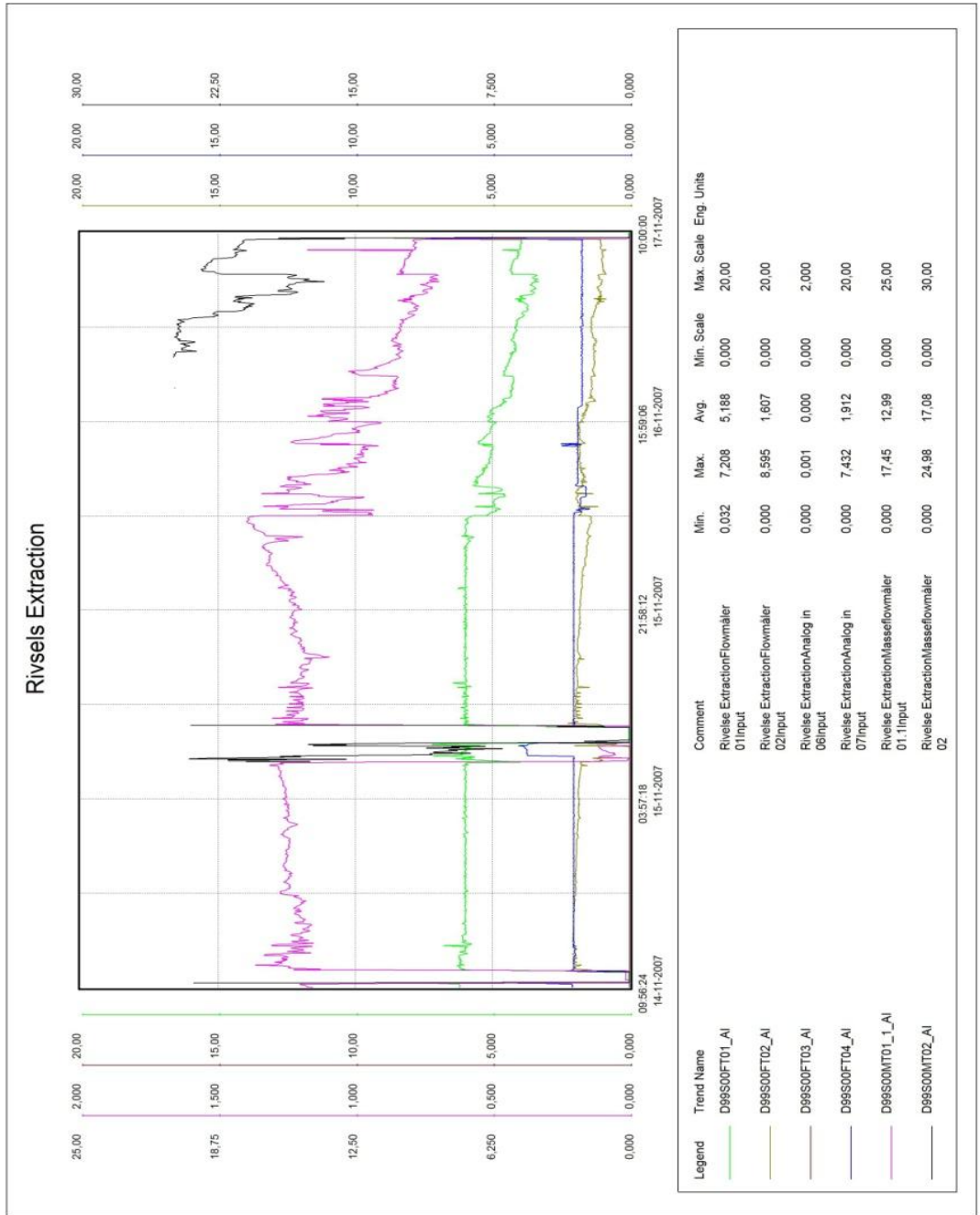




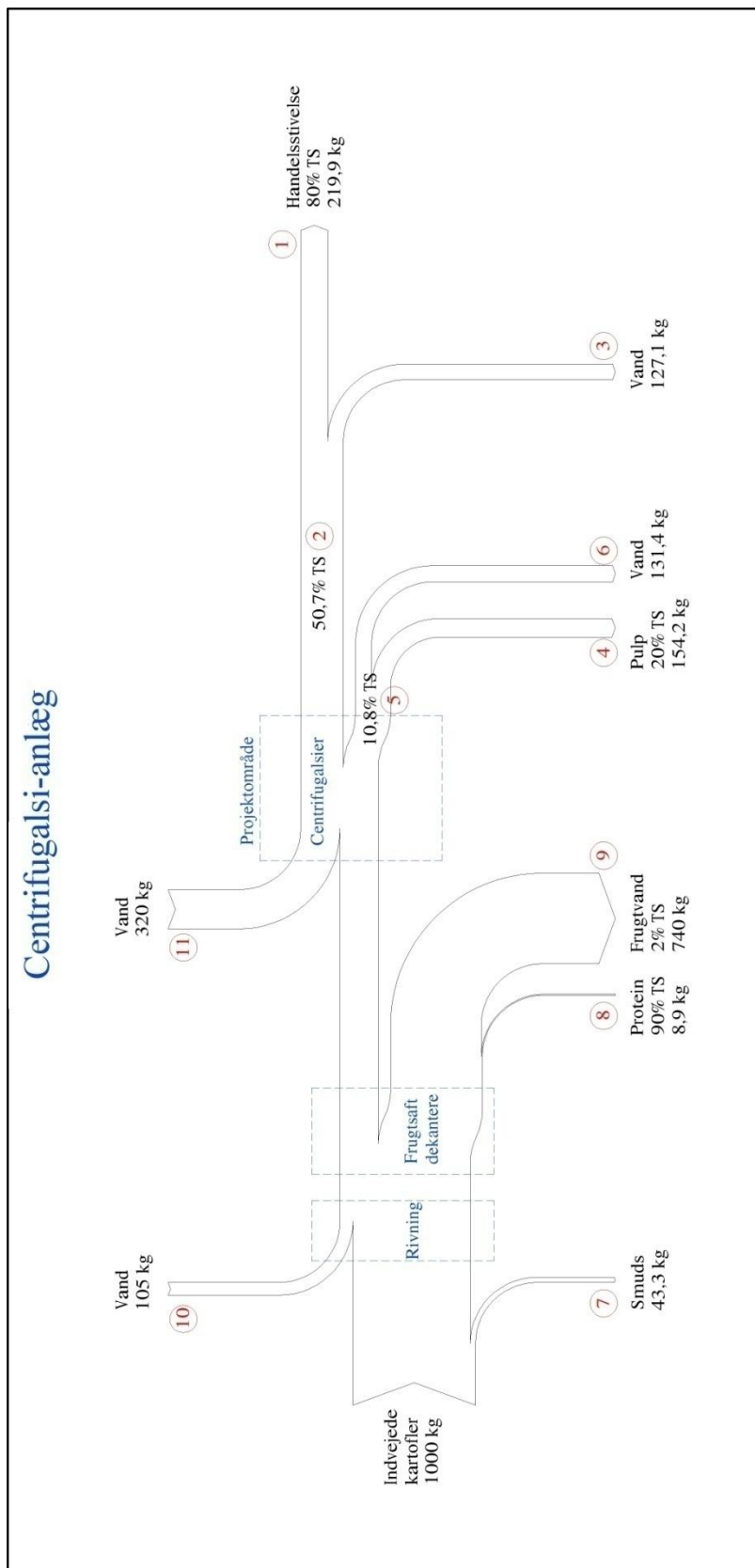


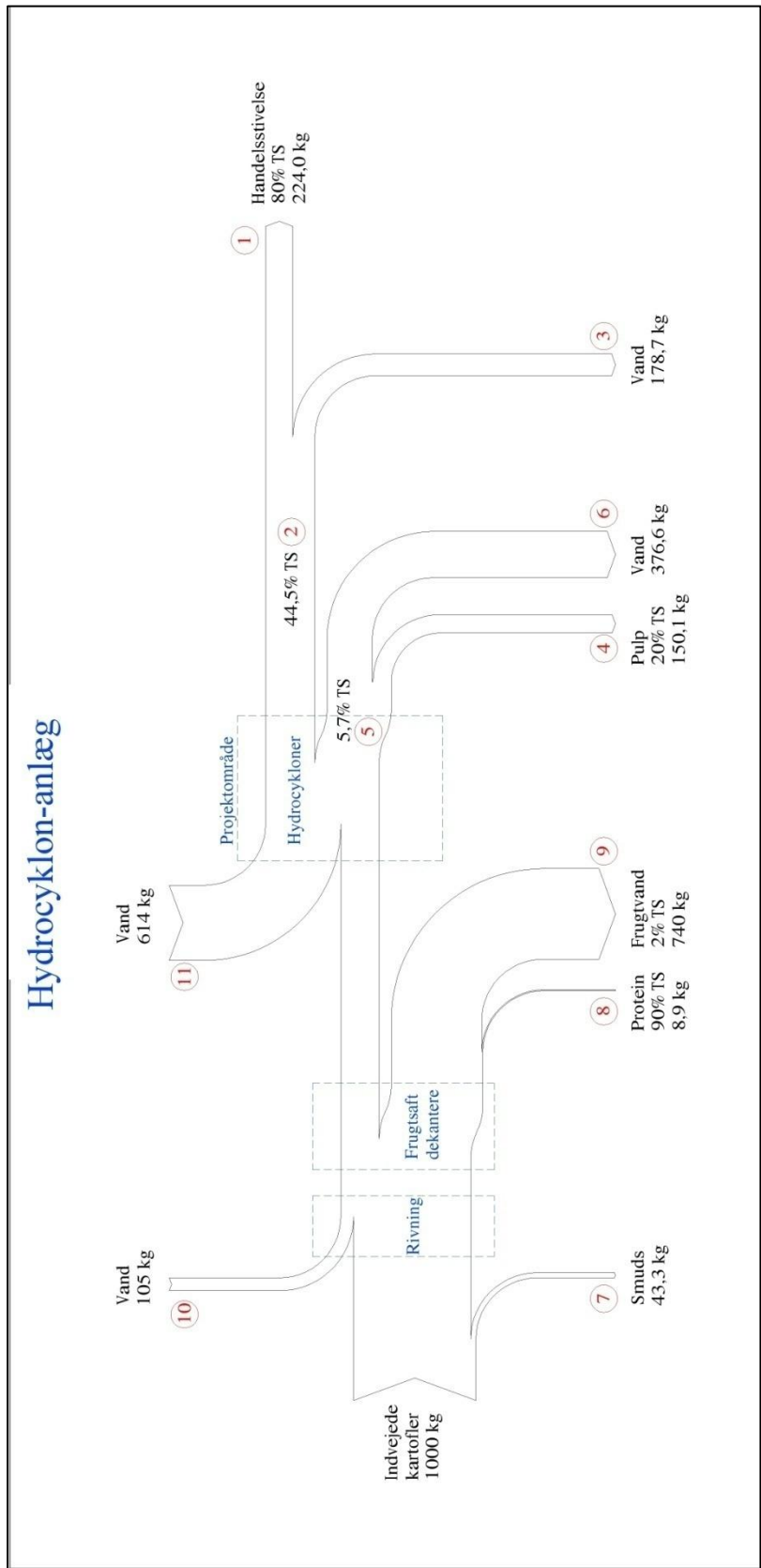


Bilag 5 Driftskurver over 3 dage.



Bilag 6 Masseflow.





Udregninger for si-anlæg:

1. Mængde af kartoffelstivelse i forhold til indvejede kartofler:

Tal fra det grønne regnskab 07/08:

$$\text{Kartoffelstivelse} = \frac{42.088}{191.369} * 1000 = 219,9 \text{ kg}$$

2. Tørstofprocent i stivelsesmælk:

Tørstofprocenten på 50,7 % stammer fra analyser fra Karup kartoffelmelfabrik.

3. Vandmængde der fraseparerer stivelsesmælken:

$$0,8 * 219,9 = 175,9 \text{ kg}$$

$$\text{Vand} = 175,9 * \frac{100}{50,7} - 219,9 = 127,1 \text{ kg}$$

4. Pulpemængde:

Tal fra det grønne regnskab 07/08:

$$\text{Pulpemængde} = \frac{29.510}{191.369} * 1000 = 154,2 \text{ kg}$$

Oplysningen om 20 % TS i pulpen er taget fra AKM.dk

5. Tørstofprocent i pulp:

Tørstofprocenten på 10,8 % er gennemsnitsværdien for analyser fra Karup kartoffelmelfabrik.

6. Vandmængde der fraseparerer pulpen:

$$0,2 * 154,2 = 30,8 \text{ kg}$$

$$\text{Vand} = 30,8 * \frac{100}{10,8} - 154,2 = 131,4 \text{ kg}$$

7. Smudsmængde:

Tal fra det grønne regnskab 07/08:

$$\text{Smudsmængde} = \frac{8.286}{191.369} * 1000 = 43,3 \text{ kg}$$

8. Proteinmængde:

Tal fra det grønne regnskab 07/08:

$$\text{Proteinmængde} = \frac{1.700}{191.369} * 1000 = 8,9 \text{ kg}$$

90 % TS stammer fra det grønne regnskab.

9. Mængde af frugtvand:

Mængden af frugtvand er vurderet ud fra at der under normal produktion tilføres 95 ton kartofler pr. time og fra dekanterne går der ca. 75 m³ til proteinfabrikken.

Proteinet frasepareres og resten er frugtvand.

$$\text{Frugtvand} = 740 \text{ kg}$$

Oplysningen om 2 % TS i frugtvand er taget fra AKM.dk

10. Vandtilførsel under rivsel:

Under rivning af kartoflerne tilføres der ca. 10 m³ vand pr. time, når der tilføres ca. 95 ton kartofler pr. time.

Der er en del usikkerhed på værdierne under punkt 9 og 10, men denne del af processen er ændres ikke ved at skifte fra sier til hydrocykloner.

11. Vandmængde til separation:

$$\begin{aligned} \text{Vandmængde} &= 0,2 * 219,9 + 127,1 + 131,4 + 0,8 * 154,2 - (312,8 - 206,8) \\ &= 320 \text{ kg} \end{aligned}$$

Udregninger for hydrocyklon-anlæg:

1. Mængde af kartoffelstivelse i forhold til indvejede kartofler:

Der kan produceres 789 ton ekstra stivelse pr. år:

$$\text{Kartoffelstivelse} = \frac{42.088 + 789}{191.369} * 1000 = 224,0 \text{ kg}$$

2. Tørstofprocent i stivelsesmælk:

Tørstofprocenten på 44,5 % stammer fra analyser fra Karup kartoffelmelfabrik.

3. Vandmængde der frasepareres stivelsesmælken:

$$0,8 * 224,0 = 179,2 \text{ kg}$$

$$\text{Vand} = 179,2 * \frac{100}{44,5} - 224,0 = 178,7 \text{ kg}$$

4. Pulpemængde:

Den ekstra mængde produceret stivelse skal fratrækkes pulpemængden:

$$\text{Pulpemængde} = 154,2 - (224,0 - 219,9) = 150,1 \text{ kg}$$

5. Tørstofprocent i pulp:

Tørstofprocenten på 5,7 % er gennemsnitsværdien for analyser fra Karup kartoffelmelfabrik.

6. Vandmængde der frasepareres pulpen:

$$0,2 * 0,1 = 30,02 \text{ kg}$$

$$\text{Vand} = 30,02 * \frac{100}{5,7} - 150,1 = 376,6 \text{ kg}$$

- 7. Smudsmængde:**
Samme udregning som for si-anlæg.
- 8. Proteinmængde:**
Samme udregning som for si-anlæg.
- 9. Mængde af frugtvand:**
Samme udregning som for si-anlæg.
- 10. Vandtilførsel under rivsel:**
Samme udregning som for si-anlæg.
- 11. Vandmængde til separation:**

$$\begin{aligned} \text{Vandmængde} &= 0,2 * 224 + 178,7 + 376,6 + 0,8 * 150,1 - (312,8 - 206,8) \\ &= 614 \text{ kg} \end{aligned}$$

Bilag 7 Besparelse ift. nyt si-anlæg.

Herunder er vist forudsætningerne for en simpel tilbagebetalingstid på ca. 5 år for et hydrocyklonanlæg i stedet for et nyt si-anlæg.

Merprisen for si-anlæg er i afsnit 8.2 estimeret til ca. 5 mio. kr. for et anlæg med en størrelse der svarer til Brande kartoffelmelfabrik.

Forudsætninger for beregninger:

| | | |
|---|--------|---------|
| Stivelses produktion | 42.000 | Ton/år |
| Pulp produktion | 29.500 | Ton/år |
| El forbrug, Karup ny anlæg, fra fig. 24 | 27,0 | kWh/ton |
| El forbrug pilot anlæg, fra fig. 24 | 20,5 | kWh/ton |
| Tørstof procent i pulp, Karup ny anlæg | 12,2 | % |
| Stivelse i pulp, Karup ny anlæg | 27,3 | % |
| Stivelse i pulp pilot anlæg, Karup | 17,8 | % |
| Stivelse i pulp pilot anlæg, Brande | 9,6 | % |
| Stivelse i pulp pilot anlæg, Gennemsnit | 13,7 | % |
| Handelspris for stivelse | 2,00 | kr/kg |
| El pris | 0,65 | kr./kWh |

Beregninger, øget salg af stivelse:

| | | |
|------------------------------------|----------------|--------|
| Tørstofmængde i pulp: | 3.599 | Ton/år |
| Stivelse i pulp, si-anlæg | 983 | Ton/år |
| Stivelse i pulp, hydrocyklon-anlæg | 493 | Ton/år |
| Ekstra stivelse til salg | 489 | Ton/år |
| Ekstra indtjening for stivelse | 979.000 | kr/år |

Beregninger, el-besparelse:

| | | |
|--|----------------|--------|
| El forbrug til separation, si-anlæg | 1.134.000 | kWh/år |
| El forbrug til separation, pilot anlæg | 861.000 | kWh/år |
| El besparelse | 273.000 | kWh/år |
| Økonomisk el besparelse | 177.000 | kr./år |

| | | |
|--------------------------|------------------|---------------|
| Samlet besparelse | 1.156.000 | kr./år |
|--------------------------|------------------|---------------|
