

ELFOR F&U projekt 2005 nr. 337- 008

Udvikling af energieffektive hydro- cycloner til separation Forprojekt

Hovedkontor:
Fuglevænget 9, Box 61
9100 Aalborg
Fax 98 13 18 18
Tlf. 98 77 33 33

Afdeling:
Hou Skovvej 3
9550 Mariager
Fax 98 13 18 18
Tlf. 98 58 43 55

Afdeling
Jupitervej 2
7000 Fredericia
Fax 75 94 31 19
Tlf. 75 94 37 01

post@korsbaek.dk
www.korsbaek.dk

CVR:
13776083

Indholdsfortegnelse

1	Forord til projektet.....	2
2	Sammenfatning og konklusion	3
3	Energiforbrug	5
3.1	Samlet energiforbrug for brancherne	6
3.2	Energiforbrug til separationsprocesser.....	6
3.3	Energiudgifter.....	7
3.3.1	Besparelsespotentiale	7
3.3.2	Generelt besparelsespotentiale.....	7
4	Anvendte separationsprocesser i dansk industri.....	8
4.1	Separationsprocesser.....	9
4.2	Faglige kompetencer	10
4.3	Leverandører	11
4.4	Barrierer	11
5	Litteraturliste.....	12

1 Forord til projektet

Nærværende notat er udarbejdet i forbindelse med udviklingsprojekt nr. 337-008, Udvikling af energieffektive hydrocykloner til separation.

Nærværende rapport er en kortfattet summarisk beskrivelse af forprojektet, som har omfattet interviewes, litteraturstudie samt besøg på konkrete anlæg hos kartoffelmelsfabrikken AKV Langholt AmbA.

Notatet er udført af:

Korsbæk & Partnere
Rådgivende ingeniørfirma KS
Jupitervej 2
7000 Fredericia

Sag nr.: 2004/00240-003

J.nr.: 464-04

Ref.: JBJ/MMH

Rapporten er indberetningen i forbindelse med forprojekt.

I forbindelse med gennemførelsen af forprojektet vil vi gerne takke følgende personer og firmaer for velvillig deltagelse samt ekspertise:

- AKV Langholt AmbA, produktionsdirektør Niels Eriksen
- Vortex SLS BV, Holland, Herbert Zeewalkink.
- Aage Christensen A/S, Holger Neergaard.

Fredericia den 5. august 2005
Korsbæk & Partnere, Rådgivende ingeniørfirma KS

Kent Christensen

Kent Christensen

2 Sammenfatning og konklusion

Der er indledningsvis lavet et forprojekt. Forprojektet har til formål at afdække uklarheder og skabe et godt beslutningsgrundlag inden et egentlig udviklingsprojekt evt. kan startes. Udviklingsprojektet vil omfatte udvikling og demonstrering af anvendelsen af energieffektive metoder til separering eller klassificering af tørstofindholdet i suspensioner.

I Danmark anvendes en række separationsprocesser, som i nogle tilfælde kan erstattes af hydrocykloner, med lavere energiforbrug til følge.

Hydrocykloner har eksisteret i over 100 år, først var anvendelsen hovedsagligt i mineindustrien, men gennem årene har hydrocykloner taget deres indtog i det meste af industrien.

Der findes i dag et omfattende vidensgrundlag for design og brugen af hydrocykloner. Der er fortaget en del forskning på området og der findes firmaer som har specialiseret sig i design af hydrocykloner.

Computernes kraftige vækst op gennem 80'erne og 90'erne til i dag har også bevirket at det er meget nærliggende at anvende computerbaserede beregninger af strømninger i en hydrocyklon i designfasen, i stedet for at være nødsaget til at lave skala eller fuldskala forsøg.

I praksis foreligger alle muligheder for at optimere og designe en velfungerende hydrocyklon. De basale dimensioner kan fastlægges ud fra litteraturen, hvor man ved forsøg eller CFD-beregninger kan finpudse designet inden hydrocyklonen sættes i produktion.

Potentialet for anvendelse af den eksisterende viden ligger ikke så meget inden for nyudvikling af en mere energieffektiv hydrocyklon, men mere inden for udbredelse af anvendelsen inden for nye brancher, hvor den evt. med få modificeringer kan anvendes i stedet for:

- Centrifuger
- Filtre
- Sigter

Ved anvendelse af energieffektive (korrekt dimensionerede) hydrocykloner, kan følgende fordele opnås:

- Reduktion af elforbruget
- Reduceret vedligehold og driftsstop
- Bedre hygiejne
- Reduceret støj

Valget af én proces frem for den anden bygger på en række parametre, som partikelstørrelse i suspensionen, krav til mængden af restprodukt efter separering, den nødvendige kapacitet i anlægget og anlægsomkostningerne.

Umiddelbart anses det for muligt at anvende hydrocykloner inden for mejeri- og kartoffelmelsbranchen uden de store modifikationer af eksisterende cyklontyper. Begge er brancher som endnu ikke anvender hydrocykloner i større omfang.

Besparelsespotentiale

Det samlede besparelsespotentiale er vurderet til 17 - 35.000 kWh el pr. år ved gennemførelse af rentable projekter. Den samlede investering er vurderet til 1,5 – 4,5 mio. kr. for at opnå en elbesparelse på 1.000 MWh.

Forprojektet viser, at den simple tilbagebetalingstid (alene elbesparelse) for erstatning af eksisterende separationsteknologi med hydrocykloner ligger mellem 3-9 år afhængig af eksisterende udstyr. Ud over elbesparelsen kan der opnås en række positive forbedringer, såsom reduceret vedligehold, - som ikke er prissat.

3 Energiforbrug

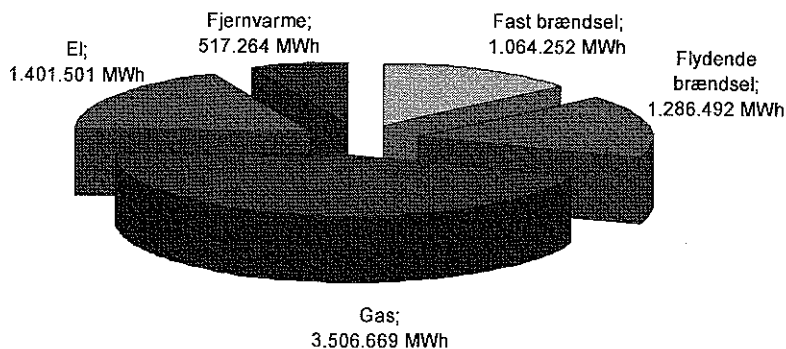
Inden for procesindustrien anvendes energi til en række separationsprocesser. Energiforbrug til separation er opgjort på basis af branchenoter nr. 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15 og 22, som er udarbejdet for Energistyrelsen af Dansk Energianalyse A/S.

Neden for er det samlede energiforbrug for brancher, der anvender separationsprocesser, som helt eller delvis kan erstattes af hydrocykloner, i produktionen opgjort.

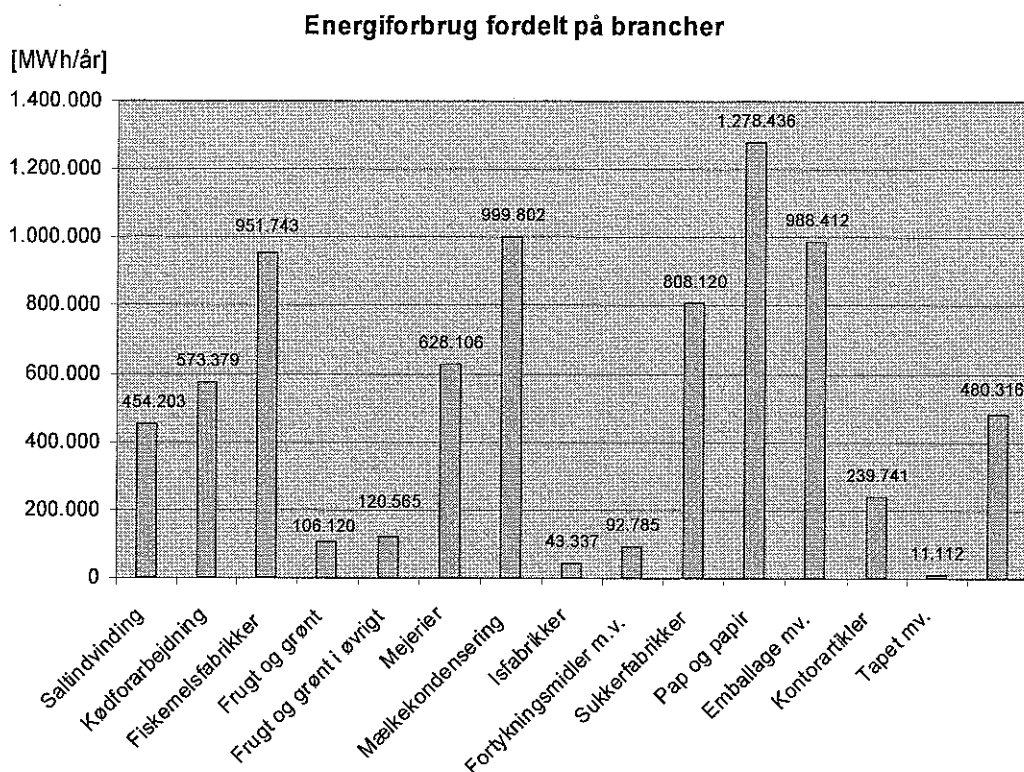
	Branchekode	Fast brændsel	Flydende brændsel	Gas	El	fjern-varme	I alt
Notat nr. 6							
Saltindvinding og anden råstofindvinding i øvrigt.	144060-145000	289.745	128.066	833	32.780	2.500	454.203
Notat nr. 7							
Kødforarbejdning i øvrigt (herunder bønsmølsfabrikker)	151390	0	142.511	291.412	133.622	5.556	573.379
Notat nr. 8							
Fiskemølsfabrikker	152030	123.899	130.288	595.325	100.008	2.500	951.743
Notat nr. 9							
Forarb. og kons. af frugt og grønsager	153100-200	0	4.723	75.562	25.002	833	106.120
Forarb. og kons. af frugt og grønsager i øvrigt	153300	0	21.113	54.449	43.615	1.111	120.565
Notat nr. 11							
Mejerier	155110	0	82.784	318.359	225.018	1.945	628.106
Mælkedensering	155120	0	58.338	758.394	126.955	56.393	999.802
Isfabrikker	155200	0	4.723	5.000	30.558	3.056	43.337
Notat nr. 12							
Slivelsesprodukter	156200	0	9.167	54.171	28.336	1.111	92.785
Fortykningsmidler m.v.	158900	278	92.230	436.146	168.902	110.564	808.120
Notat nr. 15							
Sukkerfabrikker og raffinaderier	158300	647.830	533.932	278	94.174	2.222	1.278.436
Notat nr. 22							
Fremst. af papir og pap	211200	0	2.778	432.535	232.796	320.303	988.412
Fremst. af emballage- husholdning- og kontorartikler	212100-2122	1.389	71.395	69.728	88.896	8.334	239.741
Fremst. af kontorartikler	212310-90	0	556	3.056	7.223	278	11.112
Fremst. af tapet og andre papvare	212400-2500	1.111	3.889	411.422	63.616	556	480.316
Samlet energiforbrug		1.064.252	1.286.492	3.506.669	1.401.501	517.264	7.776.178
Fordeling %		13,7	16,5	45,1	18,0	6,7	100,0

Tabel 1 Energiforsyning 1997 (MWh) for brancher hvor separationsprocesser indgår i produktionen. (Energistyrelsens energimatrix samt Danmarks Statistik opgørelse for firmaer med mindst 20 beskæftigede).

Fordeling af brændselstype



Figur 1 Energiforbrug for ovenstående brancher fordelt på brændselstype.



Figur 2 Samlet energiforbrug for den enkelte branche i MWh.

Af tabel 1 ses at 45% af energiforsyningen udgøres af gas. Fast brændsel, flydende brændsel og fjernvarme udgør henholdsvis 14%, 16% og 7% af energiforsyningen. El udgør 18% af energiforsyningen.

Ud over ovenstående brancher, som generelt anvender separationsprocesser, er brancher som i begrænset omfang anvender processerne i produktionen bryggerier, farveproducenter og dele af medicinalindustrien.

3.1 Samlet energiforbrug for brancherne

Det samlede energiforbrug for brancher der anvender separationsprocesser udgør, jf. Energistyrelsens opgørelser:

Varme:	6.374.677 MWh/år
El:	1.401.501 MWh/år
Samlet energiforbrug:	<u>7.776.178 MWh/år</u>

3.2 Energiforbrug til separationsprocesser

Inden produkterne når separationsprocessen gennemgår de oftest følgende forarbejdningsprocesser:

- Vaske/ skrælning
- Snitning/ findeling
- Opblæsning i vand eller anden væske (suspension)

På baggrund af opgørelser fra AKV Langholt AmbA kartoffelmelsfabrik udgør energiforbruget til separation 31% af det totale elforbrug for virksomheden. Mængden af tilført varmeenergi til separationsprocessen er stor set lig 0. På baggrund af branchenotaterne og opgørelserne ved kartoffelmelsfabrikken er det vores vurdering at det samlede energiforbrug til separation for alle brancher samlet set udgør.

Elforbrug til separation:	25 % · 1.401.501 MWh	350.000 MWh
Varmeforbrug til separation:		0 MWh

Elforbruget går hovedsagelig til drift af vakuumpumper, løftepumper og motorer til eksempelvis centrifuger, mv.

3.3 Energiudgifter

Branchens energiudgifter er beregnet under følgende forudsætninger:

Elpris:	500 kr./MWh
---------	-------------

Energiudgifterne til separation udgør således:

El:	350.000 MWh · 500 kr./MWh	175 mio. kr./år
-----	---------------------------	-----------------

3.3.1 Besparelspotentiale

Hos AKV Langholt AmbA er lavet en opgørelse over fordelingen af energiforbruget til separationsprocessen. Projektgruppen har efterfølgende lavet en undersøgelse, med hjælp fra leverandører, af besparelspotentialet på den aktuelle virksomhed, med følgende resultat:

Elforbrug for eksisterende linie:	2.000 MWh/år
Forventet elforbrug til hydrocykloner	<u>900 MWh/år</u>
Netto besparelse	<u>1.100 MWh/år</u>

Investeringen udgør mellem 2 – 5 mio. kr. pr. anlæg af denne størrelsesorden. Levetiden er, afhængig af materialet, mellem 10 – 15 år.

3.3.2 Generelt besparelspotentiale

I Danmark eksisterer 4 kartoffelmelsfabrikker som umiddelbart kan anvende teknologien, hertil vurderes det at mindst 16 øvrige virksomheder inden for andre brancher med fordel kan erstatte mekaniske anlæg med hydrocykloner. Det forventede energisparepotentiale vurderes på baggrund af undersøgelserne hos kartoffelmelsfabrikken at være i størrelsesordenen 5-10% af det samlede elforbrug til separationsprocesser i Danmark:

Forventet besparelse:	5-10% · 350.000 MWh/år	17 - 35.000 MWh/år
-----------------------	------------------------	--------------------

Besparelsen vurderes at kunne realiseres inden for 3 – 8 år.

Økonomisk besparelse:	17 – 35.000 MWh/år · 500 kr./MWh	9 -18 mio. kr./år
-----------------------	----------------------------------	-------------------

Ud over ovenstående elbesparelser vil en forbedring af separationsprocessen i nogle tilfælde reducere restvandindholdet i produktet, dermed kan opnås en varmebesparelse i forbindelsen med sluttørringen.

4 Anvendte separationsprocesser i dansk industri

En række danske virksomheder anvender i dag separationsprocesser i produktionen. Processerne kan helt eller delvis erstattes af hydrocykloner. Herunder er de enkelte processer i brancherne beskrevet.

Saltindvinding(6)¹

Efter udkrystallisering af saltet, via inddampning, separeres det fra den mættede brine i henholdsvis hydrocykloner og centrifuger. Herefter tørres saltet i fluidbedanlæg.

Akzo Nobel er den eneste store producent af salt her hjemme.

Benmel (7)

Efter finhakning af benene, koaguleres produkterne. Herefter passere de sisnegle som dræner produktet, inden det inddampes til ca. 40% tørstofindhold, hvorefter det tørres.

Af bemelsfabrikker i Danmark kan nævnes Kambas og DAKA, som de store energiforbrugere.

Fiskemel(8)

Fisken landes, koges og presse inden massen centrifugeres til henholdsvis fiskeolie eller videre inddampning. 41 % af elforbruget til fiskemelsfabrikkerne går til presning og centrifugering. En fisk består typisk af ca. 75% vand, 3% olie og 22% tørstof. Der findes 5 fiskemelsfabrikker i Danmark.

Kartoffelmel(9)

Kartoflerne findeles og bliver til rivsel. Herefter sendes rivslen i en dekanter, hvor fugtsaft sorteres fra stivelsen og cellerester. Massen tilsættes vand og cellerne sorteres fra i en centrifuge. Stivelsesmælken sendes til endelig raffinering i sier og centrifuger. Massen, der består af ca. 50% vand, afvandes i vakuumfilter til et vandindhold på ca. 38% inden tørring med varm luft.

Der er 4 producenter af kartoffelmel i Danmark: AKV Langholt, AKM Brande, KK Karup AKS Toftlund.

Mejeribranchen(11)

Efter opvarmning separeres mælken i centrifuger.

Branchen domineres af MD Food (Arla) og Nestlé. Mejeribranchen står for 4% af industriens samlede energiforbrug. 46 % af energiforbruget anvendes til øvrige motorer som omfatter homogenisering, centrifugering, transport og pakkeanlæg. Herudover anvendes en stor del af elforbrug til pumpning af masse.

I forbindelse med anvendelse af centrifuger, har de problemer med luft i produkterne så mælken skummer op under centrifugering.

¹ () henviser til branchenotat nr.

Stivelsesprodukter/fortykningsmidler(12)

Væsentlige producenter af fortykningsmidler som tilsætningsstoffer til fødevarerindustrien er Copenhagen Pectin, Danisco Cultor og FMC Litex. Produkterne fremstilles af citrusskaller, kerner eller tang importeret fra udlandet.

Produkterne gennemløber følgende processer: Ekstraktion, filtrering(vakuumfiltrering) af pulp fra væske, inddampning eller ultrafiltrering, fældning og afvanding i dekanter inden tørring eller destillation.

Sukkerfremstilling(15)

Sukker produceres på tre fabrikker i Nakskov, Nykøbing og Assens. Inden tørring centrifugeres krystallerne.

46% af elforbruget går til pumper i bl.a. vakuumsystemet. 16% af elforbruget anvendes til centrifuger, pressere og pakkemaskiner.

Papirindustrien (22)

Papiret opløses i vand og findeles inden det ryger i papirmaskinen, hvor det fortørres, presses, afvandes på viren, limes og eftertørres. Papiret gennemløber processen i én samlet maskine. Dele af processen er derfor svær at erstatte af hydrocykloner.

4.1 Separationsprocesser

Herunder er separationsmetoderne kun kort beskrevet, der kan læses mere om processerne i bøgerne anført i litteraturlisten.

Filtrering

Filtrering er en ofte anvendt metode til opdeling af materialer i fast stof og væske. Inden for filtrering findes en række variationer i opbygning afhængig af om det hovedsageligt er det faste stof eller væsken som udgør værdien i produktionen, eller om det er begge dele. Effektiviteten kan øges ved at tilsætte vakuum på den ene side af filteret.

Filtrering anvendes inden for eksempelvis bryggerier til fjernelse af proteiner, eller til udfældning af pigmenter i farveproduktion.

Sedimentering

En simpel metode, hvor suspensionen for lov at stå til det faste stof har bundfældet sig. Processen anvendes sjældent i dens enkle form, men fremskyndes ved eksempelvis centrifugering eller ved flotation (tilsætning af modstrømmende luft). Ellers kan suspensionen passere en række modgående lameller. Sedimentation anvendes sjældent pga. den lange opholdstid.

Cykloner/hydrocykloner

Blandings produktet sendes ind i cyklonens top med højt tryk 1-10 bar og roterer ned gennem cyklonen, i bunden udskilles de tunge partikler mens de lette returner til toppen, hvor de hives ud af cyklonen. Opholdstiden i hydrocyklonen er ganske kort, 1 sek. eller mindre.

Cykloner kan anvendes til både gas og væske-separation, og bruges ofte inden for kul, cellulose og fibre. Effektive cykloner kan udskille partikler helt ned til 5µm.

Centrifuger

Anvendes til fremskyndelse af den naturlige sedimentationsproces ved at benytte centrifugalkræfterne i stedet for tyngdekraften.

Flotation

Luftbobler sendes gennem væskeblandingen og hiver partikler med til overfladen, mens letopløselige partikler falder med væsken til bunden. Kombineres luft med mere faste stoffer kan fluid bed opnås.

Membranprocesser

Anvendes hovedsageligt til opkoncentrering af væske. Eksempelvis til hævning af æggehvidekoncentrat i æggehvider eller fjernelse af tungmetaller i afløbsvand. Inden for membranprocesser hører ultrafiltrering og mikrofiltrering. Denne type filtrering anvendes ofte inden for levnedsmiddel og bioteknologien. Processerne kan filtrere proteiner, kolloider og bakterier i størrelsen 10^{-3} – $10 \mu\text{m}$, mens almindelig filtrering ikke går under $10 \mu\text{m}$.

Efter separation er produkterne sjældent fuldstændig skilt ad, de indeholder ofte restprodukter af eksempelvis vand. Efterfølgende er det derfor ofte nødvendigt at tørre produktet inden pakning eller lagring.

Sigter

Sigter anvendes ofte som første del af processen i sammenhæng med nogle af de ovenstående, da denne proces separerer større partikler, eller kan anvendes til afvanding.

Jo bedre separationsprocessen kan gennemføres, jo mindre varmeenergi skal anvendes til sluttørring af produkterne.

4.2 Faglige kompetencer

Hydrocykloner har eksisteret i over 100 år og det første patent blev taget i 1891. Hydrocykloner tog dog først deres store indtog efter anden verdens krig. Først var anvendelsen hovedsagligt i mine industrien, men gennem årene har hydrocykloner fundet indpas i det meste af industrien.

Der findes i dag et omfattende videns grundlag for design og brugen af hydrocykloner. Der er fortaget en del forskning på området og der findes firmaer som har specialiseret sig i design af hydrocykloner.

Computernes kraftige vækst op gennem 80'erne og 90'erne til i dag har også bevirket at det er meget nærliggende at anvende computerbaserede beregninger af strømninger i en hydrocyklon i form af CFD, hvor man før i tiden var tvunget til at lave skala eller fuldskala forsøg.

I praksis foreligger alle muligheder for at designe og optimere en velfungerende hydrocyklon. De basale dimensioner kan fastlægges ud fra litteraturen, hvor man ved forsøg eller CFD-beregninger kan finpudse designet.

Hydrocykloner sælges som en samlet pakke med både rådgivning, leverance og montage. KREBS Engineers er en af de førende inden for hydrocykloner i Europa. De udfører computeranalyser og skalaforsøg inden levering af den færdige produktionsenhed.

Branchespecifikke kompetencer inden for produktsammensætningen og procesforløb skal findes inden for de enkelte brancher.

DTU institut for kemiteknik, har tidligere deltaget i en række forsøg inden for separationsprocesser bl.a. ”Alternative metoder til separation af vand og sukker” og ”Alternative metoder til energieffektive stofadskillelse 1 + 2.

CSIRO Minerals, <http://www.minerals.csiro.au>, er et firma der arbejder inden for mine industrien, men har kompetencer til at udføre CFD-beregninger på hydrocykloner.

Votex SLS BV (Holland) er specialiseret i teknologien omkring hydrocykloner. De har arbejdet med pilotprojekter i Holland, hvor cykloner er anvendt til ekstraktion på fabrikken Foxhol. Anlægget har en kapacitet på 180 ton/h og energiniveauet er gået ned med 40-50%.

4.3 Leverandører

KREBS Engineers er et af verdens førende firmaer inden for udvikling/design og fremstilling af væske/faststof eller væske/væske hydrocykloner til separation, fraktionering eller afvanding. De har designet cykloner siden 1953 <http://www.krebs.com/>

Aage Christensen A/S leverer rådgivning og cykloner i samarbejde med KREBS til den danske industri. De har leveret cykloner til bl.a. FLS smidt, Novosymes m.fl.

Programmet varierer fra 5” small diameter cyklon til separation af faststof med en størrelse på $> 5 \mu\text{m}$ ved en kapacitet på 200 l/h. til flow på 1.000 m³/h med partikelstørrelser på ca. 220 μm . Hydrocykloner kan leveres i metal, keramik eller uretan. Der udføres forsøg med at udvikle mere slidbestandigt materialer til foring af cyklonerne.

Hollandske Hovap/Tyco bygger cyklonerne efter anvisning fra Votex SLS BV.

4.4 Barrierer

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 frygt lange leveringstider ved driftsstop.

Energiforbrug har ikke før været en konkurrenceparameter, men er ved at blive det og dette kan lette på problemerne med manglende interesse.

Leverandørerne kan ikke komme med færdige håndfaste prislister, da hydrocykloner ikke er en standart 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.

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 proces tekniske 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 begrænser brugen af hydrocykloner, da der er en nedre grænse for partikelstørrelsen som kan udskilles.

Kapaciteten i hydrocyklonen er meget afhængig af produktsammensætningen. Jo større korntørrelser, jo større kapacitet.

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, men kan forlænges med specialforinger i hydrocyklonen.

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.

5 Litteraturliste

- /1/ Enhedsoperationer i den kemiske industri. L. Alfred Hansen og akademisk Forlag. 3. udgave, 1. oplag. ISBN 87-500-3378-6.
- /2/ Gas Cyclones and Swirl Tubes, Principles, Design and Operation, A.C.Hoffmann / L.E. Stein.
- /3/ Hydrocyclones af L. Svarovsky, ISBN 0-03-910562-8