

# **Tørring i overhedet damp**

**Dansk Energi Analyse A/S  
COWI A/S**

**Juli 1999**

# **Tørring i overhedet damp**

Udarbejdet af:

Søren Draborg (projektleder), Dansk Energi Analyse A/S  
Kim Kristiansen, Dansk Energi Analyse A/S  
Johnny Iversen, COWI A/S  
Jens Dahl Bentzen, COWI A/S  
Frits Garde, COWI A/S

**Juli 1999**

**Dansk Energi Analyse A/S, Jernbane Allé 45, 2720 Vanløse  
telefon 38 79 70 70 - fax 38 79 70 35 – e-mail dea@dea.dk**

# Indholdsfortegnelse

<b>1. Indledning.....</b>	<b>5</b>
1.1 Formål .....	7
1.2 Metoder og afgrænsning.....	7
<b>2. Konklusion.....</b>	<b>9</b>
2.1 Besparelsesmuligheder .....	9
2.2 Anbefalinger til det videre arbejde .....	10
<b>3. Kortlægning af energiforbruget til tørring i dansk industri.....</b>	<b>11</b>
<b>4. Vidensindsamling.....</b>	<b>14</b>
4.1 Artikler og proceedings .....	14
4.2 Håndbøger o.l. ....	15
4.3 Internettet.....	16
4.4 Møder med udvalgte personer .....	16
<b>5. Principper for tørring i overhedet damp.....</b>	<b>20</b>
5.1 Indledning.....	20
5.2 Teknikken bag tørring i overhedet damp .....	21
5.3 Teori om tørring i overhedet damp.....	23
<b>6. Tørreknologier .....</b>	<b>28</b>
<b>7. Anvendelighed af tørring i overhedet damp.....</b>	<b>37</b>
7.1 Økonomiske og tekniske barrierer for implementering .....	38
7.2 Miljøforbedringer og øget produktkvalitet.....	39
7.3 Produkter og brancher .....	39
7.4 Anvendelsesmuligheder for afdampen .....	42
7.5 Besparelspotentiale .....	43
7.6 Kommercielle anlæg.....	45
7.7 Implementering af tørring i overhedet damp på kort sigt.....	46
7.8 Implementering af tørring i overhedet damp på længere sigt .....	47
<b>8. Tørreanlæg hos Dangrønt i Ringkøbing.....</b>	<b>49</b>
8.1 EcoDry tørreanlæg .....	49
8.2 Energibesparelsen.....	49
8.3 Driftserfaringer .....	50
8.4 Økonomien i anlægget.....	50

Referenceliste.....	52
---------------------	----

Bilag 1	Leverandører af dampørreanlæg
Bilag 2	Leverandørfortegnelse
Bilag 3	Virksomheder i interviewundersøgelse
Bilag 4	Oversigt over videntcentre

# 1. Indledning

Nærværende udredningsprojekt omhandler mulighederne for anvendelse af tørring i overhedet damp i dansk industri. Projektet er en fortsættelse af et tidligere projekt, ”Energieffektivisering af industrielle tørreprocesser” [ref.1], hvor det blev foreslået, at undersøge mulighederne for implementering af tørring i overhedet damp i dansk industri nærmere. Der er således taget udgangspunkt i de erfaringer og den viden, der er opbygget gennem det førnævnte projekt.

Tørring i overhedet damp har været en kendt teknologi i de sidste 100 år, og de første industrielle anvendelser af teknologien skete i Tyskland for omkring 60 år siden. Men tørring i overhedet damp har først vundet udbredelse i de seneste 15-20 år. Det skyldes blandt andet, at teknologien er mere kompleks end de traditionelle tørreknikker, og at udstyret til tørring i overhedet damp er dyrt i forhold til traditionelt udstyr. Disse faktorer er medvirkende til, at tørring i overhedet damp p.t. er meget lidt udbredt i Danmark. Et yderligere problem er, at der mangler viden om hvilke produkter, der kan tørres i overhedet damp, herunder driftserfaringer samt viden om produktkvalitet og anlægs-koncepter for de enkelte produkter.

Siden oliekriserne i 70'erne er der forsket meget i damptørring, men teknologien har kun i visse begrænsede anvendelsesområder vundet udbredelse. Disse er primært:

- Tørring af brændsler med højt vandindhold
- Foderstoffer f.eks. roeffald
- Tørring af tømmer
- Tørring af papir og papirmasse
- Tørring af slam

Der er imidlertid store energibesparelspotentialer samt andre fordele som hurtig tørretid, ingen eller begrænsede emissioner af støv og lugt, forbedret produktkvalitet m.m. ved anvendelse af tørring i damp i andre industrielle sammenhænge. Specielt hvor damp kan substituere traditionel brug af varm luft, er der meget at hente på energisiden.

I øjeblikket anvendes tørring i damp kun af De Danske Sukkerfabrikker til tørring af roeffald på en udenlandsk fabrik, på et enkelt grønttørreanlæg samt i træindustrien, hvor den såkaldte Moldrup-tørre er installeret på ni virksomheder.

Tørring i damp har gode perspektiver i en række brancher indenfor nærings- og nydelsesmiddelindustrien, træindustrien, papirindustrien samt kemisk industri. Endvidere er tørring i damp velegnet til tørring af biomasse som f.eks. slam, flis og grønt.

De umiddelbare fordele ved tørring i overhedet damp frem for traditionelle tørreknikker er:

- Ofte bedre produktkvalitet.
- Højere energieffektivitet.
- I visse situationer hurtigere tørrehastigheder.

- Miljømæssige forbedringer specielt med hensyn til lugt og emissioner, da tørreprocessen foregår i et lukket system.
- Eksplosionsfare reduceret eller elimineret i de iltfrie omgivelser.

Der kan opnås en meget betydelig energibesparelse ved at benytte tørring i overhedet damp fremfor f.eks. tørring i opvarmet luft. Det specifikke energiforbrug ved varmluft-tørring er væsentlig højere (3.200-6.000 kJ/kg vand) end det tilsvarende energiforbrug ved tørring i overhedet damp (500-2.500 kJ/kg vand) alt efter, hvorledes tørreanlægget kan integreres med virksomhedens øvrige processer.

En af de åbenlyse fordele ved at anvende damp som tørremedium er mulighederne for at genvinde varmen i afdampen. Disse muligheder er større og kondenseringssystemerne billigere i lukkede dampsystemer, end tilfældet er med vanddamp i varm luft eller røggas i traditionelle konvektionstørreanlæg. Yderligere undgås store energitab som følge af opvarmet afkastluft eller røggas ved anvendelse af damp som tørremedium.

Anvendelsesmulighederne for afdampen er specielt gode, hvis afdampen er under tryk. Hvis afdampen ikke er under tryk, er mekanisk eller termisk kompression af afdampen en mulighed før genanvendelse af dampen. Genanvendelse af afdampen indeholder generelt nøglen til teknisk og økonomisk succes for damptørresystemer. De miljømæssige aspekter af tørring i damp er nærmest optimale, idet damptørring altid foregår i lukkede systemer, hvor miljøfarlige stoffer og uønskede emissioner kan kontrolleres.

I dag har damptørring kun en lille andel af det samlede tørre marked, men det forventes at vokse kraftigt i fremtiden, hvor forbedret energieffektivitet og miljø er væsentlige målsætninger for industrien.

Der findes for tiden færre end 10 større fabrikker af tørreanlæg i verden, der tilbyder kommercielle tørreanlæg for tørring i overhedet damp. Ofte vil det være således, at tørreanlæggene bliver designet specifikt til det produkt, der skal tørres.

I projektet er der med baggrund i projektet "Energieffektivisering af industrielle tørreprocesser" [ref.1] foretaget en kortlægning af energiforbruget i tørreprocesser i dansk industri, herunder en opdeling af energiforbruget til konvektionstørring og kontakttørring, idet langt det største markeds- og energibesparelspotentiale for tørring i overhedet damp er ved erstatning af konvektionstørreprocesser. På baggrund af kortlægningen er der foretaget en vurdering af markeds- og energibesparelspotentialet for tørring i overhedet damp i dansk industri. I projektet er der fokuseret på at undersøge hvilke produkter, der kan tørres i damp, samt på hvilke koncepter indenfor tørring i overhedet damp, der vil være mest velegnede. Endelig er det undersøgt, hvilke barrierer der er eller kan være for øget anvendelse af tørring i overhedet damp.

Denne rapport henvender sig til primært til virksomheder, der anvender konvektionstørring, samt desuden til virksomhedernes leverandører og rådgivere.

Projektarbejdet er udført i et samarbejde mellem Dansk Energi Analyse A/S og COWI A/S, og projektet er primært finansieret af Energistyrelsen.

## 1.1 Formål

Det overordnede formål med projektet har været at bidrage til, at der sættes fokus på teknologien tørring i overhedet damp med det sigte, at medvirke til at energiforbruget til industriel tørring reduceres, som følge af teknologiens store energibesparelsesmuligheder. Mere konkret har projektets formål været at:

- tilvejebringe et overblik over hvilke produkter der med fordel kan tørres i overhedet damp i forskellige brancher som bl.a. korn- og foderstoffer, frugt, grønt og anden fødevarerindustri, kemisk industri samt sten, ler- og glasindustrien.
- At vurdere mulighederne for implementering af tørring i overhedet damp i dansk industri, herunder vurdere energibesparelsespotentialer for de aktuelle brancher.
- At beskrive teknologien og det tilgængelige udstyr samt de barrierer, der er eller kan være for øget anvendelse heraf.

## 1.2 Metoder og afgrænsning

Projektet har taget udgangspunkt i den viden og erfaring, der er opbygget gennem projektet "Energieffektivisering af industrielle tørreprojekter" [ref.1], samt i litteraturstudier af tilgængelig information om tørring i overhedet damp. De brancher og procesområder, der gennem dette indledende arbejde er fundet bedst egnede for implementering af tørring i overhedet damp, er dernæst udvalgt til yderligere undersøgelser. I projektet har indsatsen primært været rettet mod at sætte fokus på substitution af konvektionstørring med varm luft (f.eks. tromletørring) med tørring i overhedet damp, idet det største potentiale samt de største energibesparelser findes her. Yderligere procesoptimering af allerede energieffektive tørreprocesser, som f.eks. visse kontakttørrere, har ikke været behandlet. Mulighederne for anvendelse af afdampen fra tørresystemerne med overhedet damp har naturligvis været behandlet, idet økonomi og rentabilitet af anlæggene er kraftig afhængig heraf, men hovedvægten af arbejdsindsatsen i projektet har været lagt på, at analysere mulighederne for at tørre forskellige produkter samt selve tørreprocessen og i mindre grad på procesintegration.

Der pågår projekter vedrørende tørring af slam, papir og tekstiler samt træ, hvorfor brancher, der forarbejder disse produkter, udelades af dette projekt.

Der er foretaget en litteraturundersøgelse via Internettet og ved kontakt til større institutter i Europa, som måtte formodes at kunne bidrage til projektet. På baggrund heraf, har der bl.a. været et møde med Lund Universitet i Sverige, der besidder en del viden om teknologien tørring i overhedet damp og har en del driftserfaringer, der har været nyttige i projektet. Endvidere er der foretaget en spørgeskemaundersøgelse, hvor alle kendte leverandører af udstyr for tørring i overhedet damp er kontaktet, for at undersøge de respektive anlægskoncepters kapacitet, funktion, energiforbrug m.m. samt for høre om leverandørernes syn på teknologiens fremtid. På baggrund af disse undersøgelser er der beskrevet visse markedsnære og kommercielle teknologier, som endnu ikke eller kun i begrænset omfang er implementeret i Danmark.

Endvidere er der udarbejdet en case, der beskriver en aktuel konvektionstørreproces i en dansk virksomhed. I casen er energibesparelspotentialet ved implementering af et tørreanlæg, der anvender tørring i overhedet damp, vurderet.

Projektet er afgrænset til udelukkende at behandle energiforholdene ved tørring i overhedet damp. Der er således ikke taget hensyn til faktorer som miljøpåvirkninger, arbejdsmiljø og driftssikkerhed, der alle er faktorer som er betydeligt påvirket af den behandlede teknologi.



## 2. Konklusion

Projektet har afdækket, at der er gode muligheder for dansk industri for at indføre tørring i overhedet damp som erstatning for konventionelle konvektionstørreprocesser, og herved realisere både energibesparelser og supplerende miljøgevinster. Endvidere er det gennem en meget omfattende litteratursøgning i projektets første fase fastslået, at der til stadighed foregår videreudvikling af kendte koncepter for tørring i overhedet damp samt udvikling af nye koncepter. Blandt de nye koncepter bør ”Airless Drying” konceptet fra firmaet Heat-Win nævnes, da det kunne være velegnet til en lang række produkter, der produceres af dansk industri. Tørrekonceptet er nærmere beskrevet i bilag 1, afsnit 1.9. Det indledende litteraturstudie og vidensindsamling har været grundlaget for projektarbejdet. I bilag 2 er der med baggrund i litteraturstudiet opstillet en leverandørliste og i bilag 4 er der en oversigt over videntcentre indenfor tørring i overhedet damp.

I projektet er der desuden foretaget en kortlægning af energiforbruget til tørring i de brancher, der umiddelbart forekommer relevante i forhold til implementering af tørring i overhedet damp. Disse brancher er efterfølgende undersøgt nærmere, for at fastslå om tørring i overhedet damp er en gangbar teknologi. Endelig er energibesparelspotential ved implementering af tørring i overhedet damp i dansk industri, fordelt på brancher og på produkter, vurderet.

En af projektets væsentligste konklusioner er, at der nu findes anlæg for tørring i overhedet damp, der stort set passer til alle typer produkter, der med fordel kan tørres i damp. Der findes nu tørreanlæg der fungerer under vakuum, ved atmosfæretryk og ved overtryk, således at der kan tages hensyn til eventuelle krav om maksimal tørretemperatur for produktet.

Som et led i projektet blev der afholdt et temamøde om mulighederne for anvendelse af overhedet damp i dansk industri. Trods emnets meget begrænsede målgruppe var der mange deltagere og stor interesse for emnet, hvilket tages som udtryk for, at tørring i overhedet damp har industriens bevågenhed.

### 2.1 Besparelsemuligheder

Generelt har det været muligt at påpege meget betydelige energibesparelsemuligheder, i de brancher, der efter den indledende vidensindsamling blev udvalgt til nærmere analyse. Disse brancher var følgende:

- Fremstilling af færdige foderblandinger
- Sukkerfabrikker
- Tekstilindustri
- Træindustri
- Fremstilling af papir, papirmasse og pap
- Fremstilling af keramiske produkter

Der er i projektet identificeret de besparelspotentialer, der er angivet i tabel 2.1.

<b>Industriel tørreproces</b>	<b>Besparelsespotentiale [TJ/år]</b>
Roesnitte	490
Mask fra bryggerier	-
Mask fra destillerier	-
Biobrændsel	80
Grøntafgrøder	1.325
Papirbaner	1.470
Kød- og benmel	475
Keramiske produkter	20
Slam	80
Tekstilbaner	-
I alt	3.940

*Tabel 2.1 Energibesparelsespotentialer ved substitution af eksisterende tørreprocesser med tørring i overhedet damp.*

Det identificerede energibesparelsespotentiale svarer til 20% af industriens samlede energiforbrug til tørring.

I kapitel 6 og 7 er grundlaget for de identificerede energibesparelsespotentialer nærmere beskrevet.

## **2.2 anbefalinger til det videre arbejde**

I gennem nærværende projekt er der skabt en oversigt over, hvilke brancher der er relevante i forbindelse med tørring i overhedet damp. Endvidere er der angivet et skønsmæssigt energibesparelsespotentiale for de givne brancher og angivet mulige anlægskoncepter for de enkelte produktgrupper. Det er således projektgruppens opfattelse, at der er skabt et overordnet grundlag for yderligere fremme af anlæg for tørring i overhedet damp.

Næste skridt vil være at afprøve tørring i overhedet damp i pilotskala for at efterprøve teknologiens brugbarhed på bl.a. de produkttyper, der er beskrevet i nærværende rapport. Det arbejde bør suppleres og understøttes af udenlandske driftserfaringer. Som nævnt i denne rapport findes der allerede nogle, -helt produktspecifikke-, tørreanlæg i Danmark, der anvender overhedet damp som tørremiddel. Erfaringerne med disse anlæg bør udbredes til et større forum.

Endvidere burde der udføres et projekt om tørring i overhedet damp eller måske etørring generelt, hvor tørreprocessen sættes i et større perspektiv og betragtes som en integreret del af et produkts produktionsforløb både på virksomheden, hvor produktet tørres og i det øvrige forløb frem til slutbrugeren.

### 3. Kortlægning af energiforbruget til tørring i dansk industri

Dansk industris energiforbrug (brændselsforbrug) til tørring i 1995 er opgjort til 19.394 TJ, svarende til ca. 13% af industriens samlede energiforbrug.

I dansk industri foregår de fleste tørreprocesser som konvektionstørring. Derfor findes det største markeds- og energibesparelspotentiale for tørring i overhedet damp ved erstatning af konvektionstørreprocesser.

I nedenstående tabel er der en oversigt over energiforbruget til tørreprocesser i dansk industri, herunder en opdeling af energiforbruget til konvektionstørring og kontakttørring. I tabellen er det endvidere markeret, i hvilke brancher der umiddelbart skønnes at være muligheder for tørring i overhedet damp.

Tørring af slam er et af de mulige anvendelsesområde for tørring i overhedet damp. Eftersom slamtørring foregår på rensningsanlæg i en lang række industrivirksomheder, er energiforbruget til slamtørring indeholdt i tabellen under de forskellige brancher. Det er derfor ikke muligt at angive det samlede energiforbrug til slamtørring i dansk erhvervsliv. For biobrændsler, f.eks. træflis, gælder, at produktet der tørres ikke er virksomhedens primære produkt, men indgår som et led i fremstillingsprocessen.

De brancher, hvor der skønnes at være gode muligheder for anvendelse af tørring i overhedet damp, er i tabellen markeret med +. I de brancher, hvor anvendelsesmulighederne for tørring i overhedet damp er markeret med (+) vurderes det, at teknologien er en teoretisk mulighed. Den vil sandsynligvis kun få ringe udbredelse i praksis, men i visse brancher arbejdes der med teknologien. I de brancher, der er markeret med ÷ vurderes det, at der er meget få eller slet ingen anvendelsesmulighederne for tørring i overhedet damp.

Branche	Energiforbrug til tørring [TJ/år]	Mest anvendte tørreprincip	Anvendelsesmuligheder for tørring i overhedet damp
Råstofudvinding <sup>1)</sup>	1.241	Konvektion	(+)
Kødfoderfabrikker	950	Kontakt	+
Resten af næringsmidler i øvrigt <sup>2)</sup>	573	Konvektion	÷
Fiskemelsfabrikker	981	Kontakt	(+)
Fremst. af olier samt fedtstoffer	280	Konvektion	÷
Mælkekondensering	796	Konvektion	÷
Fremst. af færdige foderblandinger	2.651	Konvektion	+
Sukkerfabrikker	538	Konvektion	+
Maltfabrikker	819	Konvektion	÷
Tekstilindustri	297	Konvektion	+
Træindustri	1.769	Konvektion	+
Fremst. af papirmasse, papir & pap	2.941	Kontakt	+
Kemiske industri <sup>3)</sup>	1.724	Konvektion	(+)
Fremst. af tegl	877	Konvektion	(+)
Fremst. af byggeelementer af beton	495	Konvektion	(+)
Lev. Til bygge og anlæg i øvrigt <sup>4)</sup>	735	Konvektion	(+)
Fremst. af keramiske produkter	40	Konvektion	+
Asfalt- og tagpapfabrikker	594	Konvektion	(+)
Fremstilling af ekspanderet ler	700	Konvektion	(+)
Metalvare- og maskinindustri	397	Konvektion	(+)

- 1) Delsektoren omfatter bl.a. sten- og kalkbrud, grusgrave samt udvinding af salt og andre mineraler.
- 2) Delsektoren omfatter bl.a. fremstilling af kødprodukter, fiskeprodukter, fortykningsmidler, brød og kager, pasta, kartoffelprodukter, te og kaffe.
- 3) Delsektoren omfatter bl.a. fremstilling af kunstgødning, basiskemikalier, maling og lak, farmaceutiske råvarer, gummi og plast, sæbe, rengøringsmidler og lim.
- 4) Delsektoren omfatter bl.a. fremstilling af gips, cement og mørtel samt produkter af gips, mørtel og cement.

*Tabel 3.1. Energiforbruget til tørreprocesser i forskellige brancher (1995), angivelse af det mest anvendte tørreprincip og vurdering af muligheden for anvendelse af tørring i overhedet damp [ref. 1].*

I de følgende brancher vurderes det umiddelbart, at der er gode anvendelsesmuligheder for tørring i overhedet damp, samtidig med at gennemførligheden af teknologiskiftet vurderes til at være højt:

- Fremstilling af færdige foderblandinger
- Sukkerfabrikker
- Tekstilindustri
- Træindustri
- Fremstilling af papir, papirmasse og pap
- Fremstilling af keramiske produkter

De nævnte brancher har tilsammen et energiforbrug til tørring på 9.186 TJ pr. år, svarende til 47% af industriens samlede energiforbrug til tørring.

Endvidere er vurderes, at der umiddelbart er gode anvendelsesmuligheder for teknologien i dansk industri ved tørring af følgende produkter:

- Slam
- Biobrændsler

## 4. Vidensindsamling

Tørring i overhedet damp er en teknologi, der har været kendt de sidste 100 år, men det var først med oliekrisen i 1970'erne at der for alvor kom fokus på teknologien. Gennem de sidste 30 år har fokus på tørring i overhedet damp skiftet fra:

- energioptimering i 1970'erne
- miljøoptimering i 1980'erne
- kvalitetsoptimering i 1990'erne

Størrelsen af forskningsindsatsen indenfor tørring i overhedet damp kan, ligesom så meget andet forskningsarbejde, ofte sættes lig med antallet af artikler om emnet. I 1970'erne og 80'erne sås en høj publikationsrate af artikler, mens tendensen i 1990'erne er faldende. Dette fald skyldes ifølge både forskere og producenter den faldende og p.t. historiske lave oliepris, som generelt mindsker interessen for energibesparelser i industrien. Hvis indsatsen følger olieprisen, kan der forventes en øget forskning og udvikling af tørring i overhedet damp, da oliepriserne ifølge de fleste prognoser er på vej op igen.

### 4.1 Artikler og proceedings

Resultatet af litteratursøgningen i DTV's videnskabelige artikeldatabase og proceedings fra de tre foregående konferencer om tørring "International Symposium on Drying" viser, at det videnskabelige forskningsarbejde om tørring i overhedet damp foregår på universiteter og hos producenterne af anlæggene i forholdsvis få lande og begrænser sig til udvalgte produkter. Dette er illustreret i nedenstående skema. Den elektroniske artikeldatabase på DTV "Business Article Database" indeholder i øjeblikket 30 artikler fra perioden 1994 til 1999 om tørring i overhedet damp.

Størstedelen af artiklerne og proceedings kommer fra det akademiske miljø på universiteter og forskningsinstitutter. Der er ikke samme tradition hos producenterne af tørreanlæggene for at skrive artikler om deres forsknings- og udviklingsresultater. Undtagelser herfor er Arne Sloth Jensen, der under sin ansættelse hos Niro A/S publicerede en række artikler om udviklingen og afprøvningen af et tørreanlæg med overhedet damp, og Thomas J. Stubbing direktør for Heat-Win, der har publiceret et par artikler om sit "Airless drying" koncept.

Land	Forskningsområde				
	Papir & tekstil	Slam	Levneds-Midler	Biobrændsler & kul	Træ & Tømmer
Sverige	X	X		X	
Canada	X				X
Irland		X	X		
Frankrig			X		
New Zealand				X	
Holland					X
Australien				X	

*Tabel 4.1. Oversigt over hvilke lande, der udfører og offentliggør forskningsarbejde om tørring af forskellige produkter i overhedet damp.*

Indsatsen i de forskellige lande kan kort beskrives som følger:

- Sverige er blandt de lande, hvor der foregår mest forskning i udviklingen og anvendelsen af tørring i overhedet damp. På Chalmers Universitet i Göteborg udføres et omfattende arbejde omkring tørringen af træflis og bark til biobrændsel. På Lunds Universitet er professor Wimmerstedt involveret i forskningsarbejde om tørring af biobrændsler i overhedet damp.
- I Canada er arbejdet med tørring i overhedet damp især koncentreret omkring professor Mujumdar fra McGill University, der må regnes som værende en af de største kapaciteter indenfor tørring generelt.
- I Irland har man på National Dairy Products Research Center som nogle af de eneste arbejder med tørring af spildprodukter fra mejerierne i overhedet damp.
- Frankrig beskæftiger sig hovedsageligt med tørring af kvægfoder.
- I Australien er der arbejde med tørring af kul.
- På New Zealand har firmaet "Covertch" udviklet og patenteret en række processer heriblandt tørring i overhedet damp.
- I Holland er der på TNO, Institute of Applied Physics blevet udviklet en tørremetode til tørring af træ. I samarbejde med HB Drying System er der bygget en 30 m<sup>3</sup> tørreenhed.

En oversigt over de videnscentre, der beskæftiger sig med tørring i overhedet damp, ses i bilag 3.

## **4.2 Håndbøger o.l.**

Tørring i overhedet damp er beskrevet i forholdsvis få tekniske håndbøger. En af de nyeste og mest omfattende beskrivelse af anlægstyper og anvendelsesområder for teknologien findes i:

- Handbook of Industrial Drying, second edition; Mujumdar; 1995.

Der findes to nyere danske rapporter, som blandt andet omhandler tørring i overhedet damp:

- Sammenligning af tørreknologier; Dansk Gasteknisk Center A/S; 1999.
- Energieffektivisering af industrielle tørreprocesser; Dansk Energi Analyse A/S og COWI A/S; 1998

En af de nyeste svenske publikationer om anvendelse af tørring i overhedet damp er:

- Analys av det tekniska och ekonomiska läget för torkning av biobränslen, Wimmerstedt, Roland & Linde, Bjørn; 1998

Generelt findes der mange artikler om tørring i overhedet damp, hvorimod det er sparsomt med hånd- og lærebøger, som giver en bred teoretisk beskrivelse af tørringsteknologien.

### 4.3 Internettet

Der er foretaget søgninger på internettet efter hjemmesider omhandlende tørring i overhedet damp. Resultatet af søgninger på søgetjenesterne InfoSeek, Alta Vista, Yahoo og Search Europe ved brug af søgekriteriet "Superheated Steam Drying" var ca. 80 træffere. Heraf omhandlede 15 hjemmesider reelt emnet og var af en vis interesse for projektet. De aktuelle hjemmesider var cirka ligeligt fordelt mellem følgende aktører:

- Producenter/leverandører af tørreanlæg og udstyr til tørreanlæg
- Universitet og forskningsinstitutter
- Studerende med egne hjemmesider om deres master- eller P.hD.-projekt

### 4.4 Møder med udvalgte personer

En del af vidensindsamlingen i projektet foregik ved interviews af personer, der har arbejdet med tørring i overhedet damp. På baggrund af indsamlingen af artikler og proceedings var det muligt at finde frem til nogle af de personer, der har størst praktisk erfaring med udvikling og drift af tørreanlæg med overhedet damp. To af disse personer blev interviewet om deres mangeårige erfaringer med området. Det drejer sig om Arne Sloth Jensen og professor Roland Wimmerstedt.

#### 4.4.1 Professor Roland Wimmerstedt

Mødet med professor Roland Wimmerstedt fandt sted d. 10. februar 1999 på Avdelingen för Kemisk Apparatteknik på Lunds Universitet. Mødet startede med en gennemgang af den historiske udvikling af dampptørring fra 1920'erne og frem til i dag.

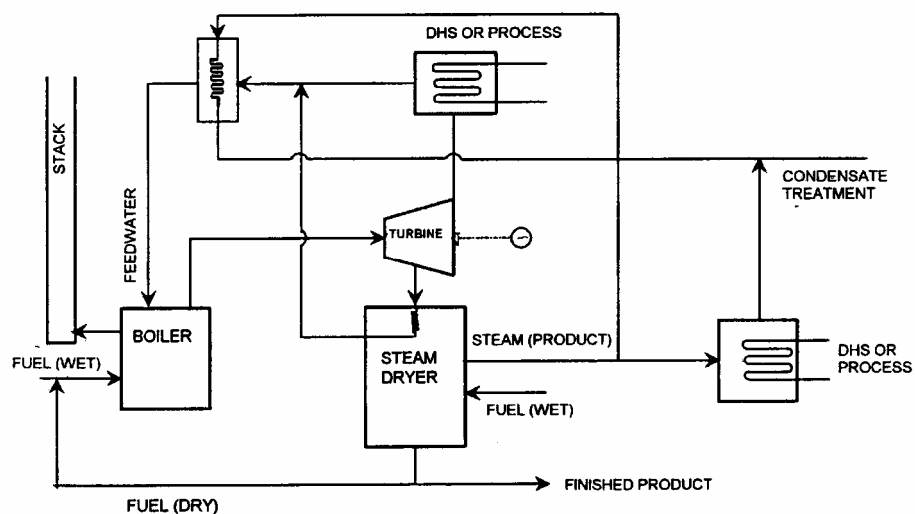
Roland Wimmerstedt fortalte om forsøg med tørring af visse levnedsmidler. Tørring i overhedet damp er generelt uegnet til levnedsmidler, da de fleste levnedsmidler kan



ikke tåle temperaturniveauet under tørringen. Men der findes blandt andet et anlæg, hvor man tørrer mask fra produktionen af bio-ethanol. Endvidere tørres plantefibre, der anvendes som tilsætning til brød.

Det vigtigste udkomme af interviewet med Wimmerstedt var hans praktiske erfaringer med to anlæg i Sverige, herunder især de driftsproblemer, der havde været med anlægene. Problemerne var især af mekanisk art på grund af lækage, slitage og korrosion.

Et andet område, som Wimmerstedt kom ind på, var princippet med at lade et tørreanlæg indgå i dampkredsen, således at brændslet tørres inden afbrændingen i kedlen. Ved at tørre brændslet inden forbrændingen, opnår man at skulle håndtere en mindre røggasmængde. Et af koncepterne er vist i nedenstående figur.



Figur 4.1 Dampkreds hvor et tryksat tørreanlæg indgår til tørring af brændslet.

Andre nyttige informationer fra mødet med Roland Wimmerstedt er skrevet ind i projektet under de enkelte afsnit.

#### 4.4.2 Arne Sloth Jensen

Mødet med Arne Sloth Jensen foregik hos COWI A/S d. 17. februar 1999. Arne Sloth Jensen var tidligere ansat først ved De Danske Sukkerfabrikker og siden hos Niro A/S, og deltog begge steder i udviklingen af et tryktørreanlæg op gennem 1980'erne og starten af 1990'erne. I sommeren 1997 startede Arne Sloth Jensen firmaet EnerDry, som lancerer tryktørreneren i en forbedret udgave med en række mekaniske ændringer. Det hævdes, at anlægget er mere driftsikkert, har større kapacitet og er billigere. Samlet er anlægget ifølge det oplyste ca. 40 % billigere pr. kg afdampet vand end den oprindelige tryktørrener fra NIRO A/S.

Arne Sloth Jensen gennemgik fordele og ulemper ved damptørring i tryktørreanlægget i forhold til tørrer tromler, der er det mest udbredte og mest sammenlignelige konventionelle tørreanlæg. I en tromletørrener er der normalt et svind på 5-8%, og et svind på over

12% er ikke unormalt. Endvidere sker det, at de mindste partikler brændes. Ved damp-tørring er der intet svind, men ved for lang opholdstid starter en "Majar-reaktion" (sukker og protein reagerer), der dannes misfarvninger, og proteinerne ændres. Derfor må opholdstiden i tryktørreren (ved 150 -200°C) ikke være meget mere end 5 minutter. I flere tilfælde er kvaliteten bedre ved damptørring.

Tørring af træspåner til spånpladeproduktion blev fremhævet. Ved damptørring af træspåner bevares ligninstrukturen, hvilket giver bedre spånplader. Hertil kommer, at miljøproblemet med blue-haze overvindes. Der er dog et kondensatproblem ved tørring af træspåner, som skal løses. I kondensatet er der organiske syrer hvilket bevirker, at efterfølgende apparater, hvori dampen kondenserer, skal være rustfrie. Alternativt skal kondensatet neutraliseres. Afdampen fra tryktørreanlægget er tilnærmelsesvis ilt- og luftfri. Der er målt 0,2% luft i afdampen. Gassammensætningen var N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> og NH<sub>3</sub>, og der var ingen ilt.

Vedligeholdelsen skulle være væsentligt mindre på tryktørreren med EnerDry's forbedrede koncept. Blæserhjulet kan blive slidt, idet der transporteres støv med rundt. Cellesluserne skal også fornyes ind imellem, hvilket kan koste 100.000 kr. Rotoren er lavet af sort jern belagt med 2½ mm hårdt stål, og huset er af messing. Ved træflisanlæggene har der været store vedligeholdelseskostninger for transportsneglene. Der er ikke problemer med korrosion i selve tørreanlægget.

Arne Sloth Jensen skelner mellem tre produktgrupper, der er interessante i forbindelse med tørring i overhedet damp:

#### Brændsler:

- Træflis
- Tørv
- Brunkul
- Bagasse (afsukrede sukkerrør)

Arne Sloth Jensen finder, at hvert produkt har et stort potentiale. Den nuværende form for afbrænding af bagasse udføres med ringe effektivitet og med store miljøgener.

#### Affald fra landbrug:

- Roepulp
- Kartoffelpulp
- Slam
- Majs
- Hvede
- Mask (bryggeri / destilleri)
- Citrusfrugter

Af ovennævnte er roepulp mest interessant ifølge Arne Sloth Jensen. De øvrige er på verdensplan også interessante.

### Levnedsmiddelindustri:

Arne Sloth Jensen var under mødet først afvisende over for damptørring i levnedsmiddelindustrien på grund af temperaturforholdene, men ved reducerede temperaturer og dermed reduceret kapacitet er damptørring mulig. Man skal dog holde øje med, at Ma-jar-reaktionen ikke ødelægger produktet. Fiskemelsindustrien samt brød- og benmelsin-dustrien er muligheder.

Ifølge Arne Sloth Jensen eksisterer der nogle barrierer for udbredelsen af damptørring som teknologi. Den væsentligste barriere for damptørring er, at investeringen (40 mill. kr. til anlæg til 50 tons/time) ikke kan forrentes efter gængse krav i industrien (2-3 år). Tilbagebetalingstiden er 8-10 år, hvilket er for meget. Arne Sloth Jensen mener, at hvis loven om "best available technology" blev taget mere alvorligt, eller at strengere krav med hensyn til miljø (lugt, støv m.m.) blev indført i EU, ville de fremme udbredelsen af teknologien.

Andre nyttige informationer fra mødet med Arne Sloth Jensen er skrevet ind i projektet i de enkelte afsnit.

## 5. Principper for tørring i overhedet damp

### 5.1 Indledning

Dette kapitel er en beskrivelse af de grundlæggende principper bag tørring i overhedet damp samt de gængse koncepter for udnyttelsen af teknologien. Idet der henvises til ”Energieffektivisering af industrielle tørreprocesser” [ref.1] undlades det at give en beskrivelse af de mekanismer, der foregår under en tørreproces.

Ved tørring i overhedet damp erstattes det traditionelle tørremedie varm luft eller røggas med overhedet damp. Den overhedede damp leverer varme til produktet, der skal tørres, og optager det fordampede vand herfra. I princippet kan enhver konvektionstørrer (f.eks. flash-tørrer, fluidbed-tørrer, båndtørrer) ombygges til at fungere med tørring i overhedet damp. Dette er beskrevet nærmere i kapitel 6.

Den åbenlyse fordel ved at anvende damp som tørremedie er, set ud fra et energimæssigt synspunkt, at genanvendelsesmulighederne for varmen i afdampen er større og kondenseringssystemerne billigere end tilfældet er med vanddamp i luft eller røggas. Endvidere undgås store energimæssige tab gennem opvarmet afkastluft eller -røggas.

Traditionelle tørreanlæg, der anvender varm luft eller røggas som tørremedie, har typisk et energiforbrug mellem 3.200 – 6.000 kJ pr. kg fordampet vand. Der er regnet med at vanddampen i afkastet ikke udkondenseres og varmen heri genvindes. For tørresystemer, der anvender overhedet damp, vil energiforbruget pr. kg fordampet vand kun ligge lidt over fordampningsvarmen for vand, medmindre vandet er bundet i produktet, dvs. ca. 2.500-2.600 kJ/kg fordampet vand. Hvis varmen der er bundet i vanddampen i tørreanlæggets afkast genvindes gennem udkondensering, vil energiforbruget for damp-tørreanlæg typisk ligge på et niveau mellem 500 og 1.500 kJ/kg fordampet vand.

Ud over det lave energiforbrug ved tørring i damp, har tørring i overhedet damp en række andre fordele, som f.eks.:

- Ingen eller meget begrænsede emissioner af støv og lugt. Dette er et forhold, der værdsættes mere og mere, som følge af skærpede miljøkrav.
- Mulighed for kortere tørretid sammenlignet med traditionelle konvektionstørrere på grund af dampens større varmeledningsevne og varmekapacitet.
- Ingen fare for reaktioner, brand eller lignende i tørreanlægget og i afkastet. Dette gælder specielt for produkter, der indeholder giftige eller meget dyre organiske væsker, som skal genindvindes ved kondensation.
- Tørring i damp giver mulighed for pasteurisering, sterilisering og deodorisering af levnedsmidler samtidig med tørringen.
- Ofte en forbedret produktkvalitet (f.eks. ingen misfarvning, højere næringsværdi og lignende).

Tørring i damp har dog også en række ulemper eller begrænsninger som f.eks.:

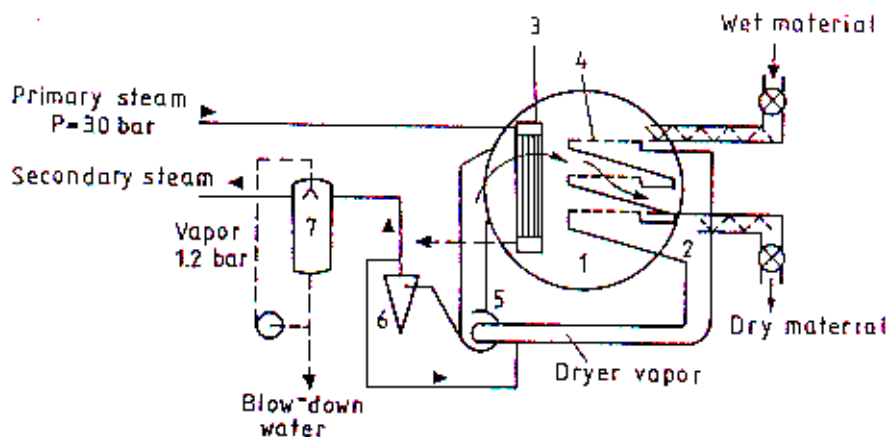
- Tørreanlæggene og de tilhørende hjælpesystemer kan være mere komplekse end traditionelle anlæg og dermed relativt dyrere og sværere at drive, f.eks. er opstarten og nedlukningen af anlæggene mere kompleks.
- Idet tørregodset kommer ind i tørreren ved omgivelsestemperaturen, vil der ske kondensation på godset, indtil det er opvarmet til temperaturen i tørreren. Det giver alt andet lige en tørretid, der er 10-15% længere. Ved f.eks. 1 bar damptryk i tørreren (atmosfæretryk) vil afdampningen fra produktet begynde ved 100°C.
- Der kan være problemer med at tørre ned til et meget lavt vandindhold.
- I damptørreanlæg optages partikler fra produktet i en vis udstrækning i afdampen, hvilket kan nødvendiggøre rensning af dampflader for kondensering af afdampen og af kondensatet.
- Produkter, der kræver oxidation gennem tørring, kan ikke tørres alene ved hjælp af damp, men må opdeles i en to-trins proces med lufttørring til sidst.
- Produkter, der ikke tåler temperaturen svarende til mætningstemperaturen ved det aktuelle damptryk i tørreren kan ikke tørres i damp.
- Da en af nøglerne til succes for tørring i overhedet damp er genanvendelse af varmen i afkastet, skal der være behov for varme ved afdampens kondenseringstemperatur.
- Der kan være specielle krav til vand- og dampkvalitet, der umuliggør genanvendelse af afdampen.
- Tørring i damp er kun aktuel for kontinuerte systemer med relativt stor produktion på grund af det mere komplekse system og dermed relativt store investering.
- Der er begrænsede erfaringer med tørring i damp og med de eventuelle driftsproblemer, der kan være med teknologien.

I de følgende kapitler beskrives teknikken bag tørring i damp nærmere.

## 5.2 Teknikken bag tørring i overhedet damp

Ved tørring i overhedet damp erstattes det traditionelle tørremiddel varm luft eller røggas med damp. Dampen er overhedet for at gøre den i stand til at kunne optage det vand, der afdampes fra tørregodset. I tørreanlæggets tørrekammer (re-)cirkuleres damp, som overhedes af en varmeplade placeret i dampstrømmen. Varmepladen vil ofte være dampopvarmet, men kan principielt være opvarmet af hvilket som helst medie. Den overhedede damp har sammen funktion som den varme luft i traditionelle konvektionstørreanlæg, nemlig at levere varme til produktet, så produktets vandindhold fjernes, samt at optage det fordampede vand fra produktet. Afdampen fra tørreren kan ledes til det fri, hvorved det reelle energiforbrug for tørreanlægget svarer til vands fordampningsvarme, dvs. ca. 2.500-2.600 kJ/kg fordampet vand. Alternativt kan afdampen ledes til et anlæg, hvor der er behov for varme ved eller under afdampens temperatur. Det vil ofte være et andet procesanlæg på den virksomhed, hvor tørreanlægget er installeret. På sukkerfabrikkerne, hvor der visse steder i udlandet anvendes tørring i damp under (3 bar) tryk, anvendes afdampen som varmekilde til fabrikernes inddampnings- og kogeanlæg. Hvis virksomheden ikke selv har brug for varmen i afdampen, kan den f.eks. anvendes til produktion af fjernvarme eller til varmforsyning af procesanlæg i nærliggende virksomheder.

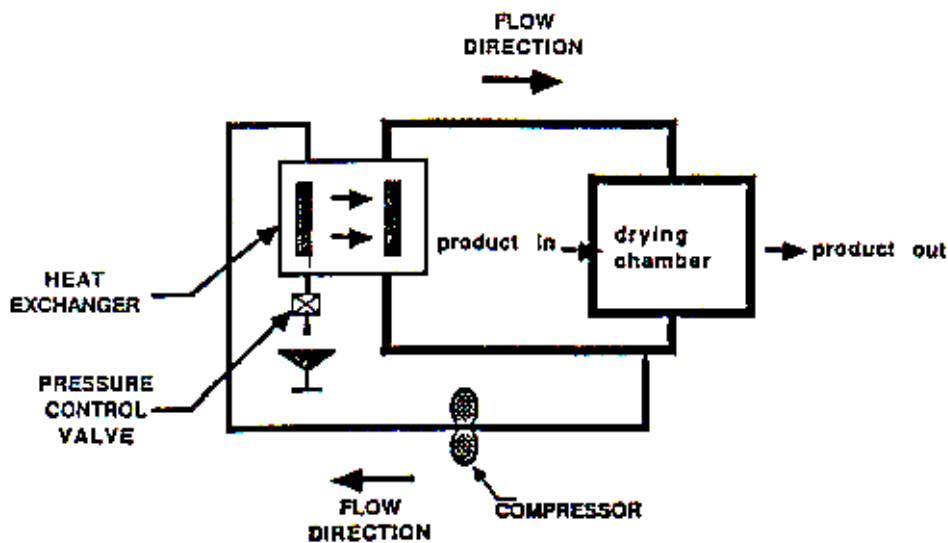
I nedenstående figur er vist en principskitse af et tørreanlæg med overhedet damp, hvor den cirkulerende damp opvarmes af en varmeveksler forsynet med damp fra et dampkedelanlæg.



Figur 5.1. Principskitse af et tørreanlæg med anvendelse af overhedet damp. 1) Tørrekammer, 2) Dampafgang, 3) Varmeveksler, 4) 3 skærmeniveauer, 5) Cirkulationsblæser, 6) Centrifugalseparator, 7) Scrubber.

Varmekildens temperatur afhænger af trykket i tørreanlægget og den ønskede tørrehastighed. Hvis der anvendes damp til at forsyne tørreanlægget med energi, vil damptrykket normalt være fra 15 baro (svarende til ca. 200-225°C) og opefter.

Anvendelsesmulighederne for afdampen er som nævnt specielt gode, hvis afdampen er under tryk. Hvis afdampen ikke er under tryk eller er ved for lav temperatur, er det en mulighed at foretage mekanisk eller termisk kompression af afdampen før genanvendelse af dampen. Det vil oftest kun være rentabelt i situationer med billig el at foretage mekanisk rekomprimering, da dampturbinen (kompressoren) er dyr. En fornuftig genanvendelse af afdampen indeholder generelt nøglen til teknisk og økonomisk succes for damptørresystemer. Som eksempel kan nævnes, at den tryktørrer som det danske firma NIRO markedsfører, kan give en energibesparelse på op til ca. 90%, når genanvendelsen af afdampen godskrives tørreprocessen. Det typiske energiforbrug til tørreprocessen vil da være ca. 200-300 kJ/kg fordampet vand. I forbindelse med kraftvarmeinstallationer skal den mistede elproduktion som følge af anvendelse af kraftdamp tillægges de direkte investeringer. Overhedet damp kombineret med damprekompression har længe været en kendt teknologi med væsentlige fordele i forbindelse med tørring af bl.a. levnedsmidler. Anlægget består i princippet af et tørrekammer, hvor overhedet damp er tørremidiet, der løber i et lukket kredsløb. Dampen optager fugt i tørrekammeret og kondenserer det optagne vand i en varmeveksler, hvorfra den eventuelle varmegenvinding således sker. En delstrøm af den mættede damp fra tørrekammeret bliver komprimeret i en kompressor, og varmen overføres til tørremidiet (overhedet damp).



Figur 5.2 Principskitse for overhedet damptørring i lukket kredsløb med dampkompression.

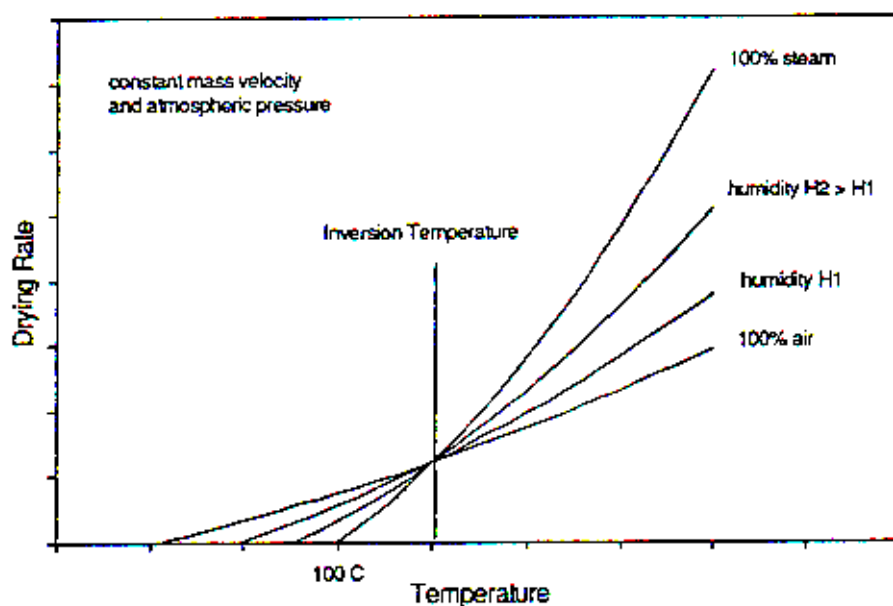
Disse anlæg er relativt dyre og anvendes kun til produkter med stor værdi, og hvor produktkvaliteten er højt prioriteret.

### 5.3 Teori om tørring i overhedet damp

Tørreprocessen kan opdeles i tre delforløb eller trin: tørretrin 1, tørretrin 2 og tørretrin 3. Dette er udførligt beskrevet i f.eks. "Energieffektivisering af industrielle tørreprocesser" [ref.1], hvorfor tørreprocessen her kun beskrives summarisk. I tørretrin 1 sker der borttørring af fugten på produktets overflade med en konstant tørrehastighed (fugtjernelse) bestemt af luften eller den overhedede damps evne til at optage fugt. I tørretrin 2 og 3 er tørrehastigheden bestemt af produktets evne til at lede fugt fra produktets indre til overfladen. I disse tørretrin vil tørrehastigheden være faldende, da modstanden mod fugttransporten stiger efterhånden som fugtens afstand til overfladen forøges.

Der er udført udredningsprojekter, hvor tørring i luft og overhedet damp er undersøgt teoretisk med modeller og med pilotforsøg. Processen i tørretrin 1 er udførligt undersøgt og beskrevet i litteraturen. Ved en bestemt temperatur, kaldet inversionstemperaturen, er tørrehastigheden af vand fra et produkt uafhængig af tørremediets fugtindhold. For temperaturer over inversionstemperaturen, forøges tørrehastigheden med tørremediets fugtindhold og for temperaturer under inversionstemperaturen falder tørrehastigheden ved stigende fugtindhold. Inversionstemperaturen skyldes kombinerede effekter af højere varmeoverføringskoefficient for overhedet damp (ved samme masseflow) i forhold til luft og lavere temperaturdifferens mellem produkt og tørremedie ved anvendelse af overhedet damp. Inversionstemperaturen er bl.a. afhængig af flowforholdene i tørreanlægget, af trykket i tørreren og produktet.

Nedenstående figur viser et eksempel på kurver over tørrehastigheden med atmosfærisk luft og med overhedet damp.



Figur 5.3. Tørrehastigheder for tørring i damp sammenlignet med luft.

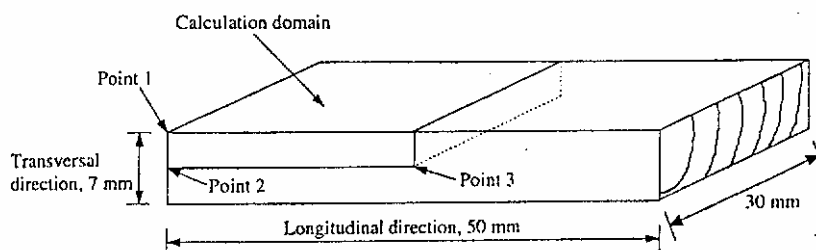
Sammenligningerne er lavet for tørrehastigheden defineret som mængden af damp, der forlader en given overflade. Inversionstemperaturen varierer meget efter de konkrete tryk- og flowforhold i tørreanlægget. Hvis der tørres i damp ved en temperatur, der er lavere end inversionstemperaturen, vil tørrehastigheden og dermed tørrerens kapacitet falde, men der vil stadig være de samme energimæssige fordele.

Ved tørring i overhedet damp i tørretrin 1 (se [ref.1]), hvor tørrehastigheden er konstant, vil overfladetemperaturen af produktet antage temperaturen svarende til vanddamps mætningstemperatur ved det aktuelle tryk, f.eks. 100°C ved 1 bar. Under tørring i varm luft vil overfladetemperaturen være lavere, svarende til mætningstemperaturen af vanddampen i tørreluften, f.eks. 40°C. Temperaturforskellen mellem tørremiddel og overfladetemperatur er derfor mindre ved tørring i damp, hvilket forringer varmeovergangen og alt andet lige nedsætter tørrehastigheden. Imidlertid vil en højere overfladetemperatur forøge varmediffusionen internt i produktet, hvilket trækker i modsat retning. Endvidere er varmeovergangskoefficienten for damp større (f.eks. 37% større ved 227°C og atmosfæretryk) end for luft på grund af højere varmeledningsevne og større varmekapacitet.

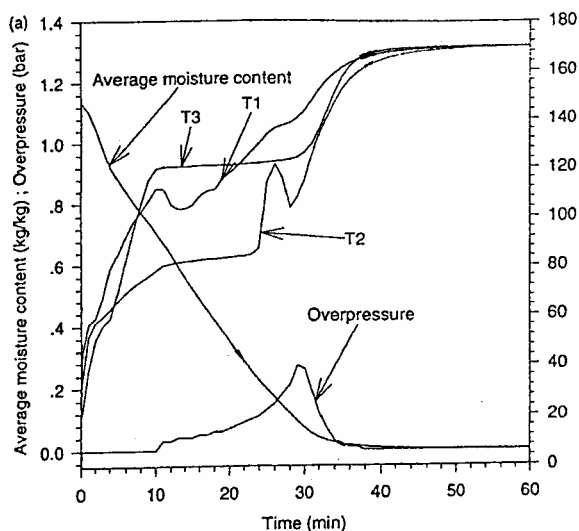
Ved tørring i traditionelle konvektionstørreanlæg med luft kan der under store tørrehastigheder optræde en betydelig modstand mod diffusion af dampmolekyler ind i tørreluften. Dette er ikke tilfældet ved damptørring. Det har endvidere vist sig, at det kritiske fugtindhold, dvs. når al overfladefugt er borttørret, og tørrehastigheden begynder at falde, generelt er lavere ved tørring i damp end ved tørring i luft. Dette forhold hænger sammen med den større mobilitet af vand og damp internt i produktet ved tørring i damp.



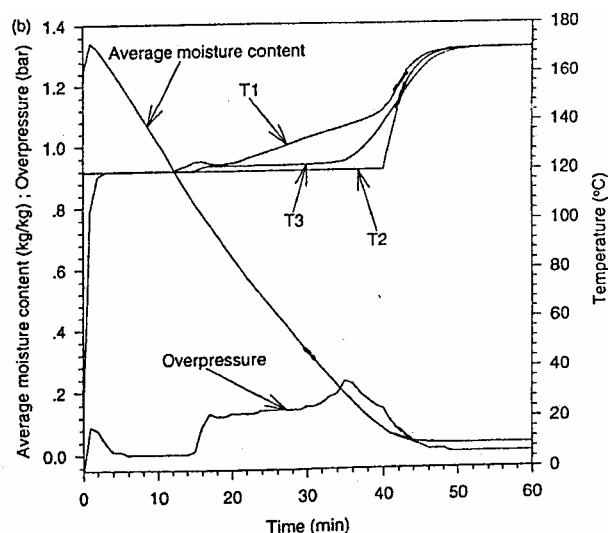
Med figur 5.5a-b er der vist et tørreforløb for træflis, hvor tørring er modelleret matematisk ved tørring i henholdsvis luft og overhededt damp ved 170°C, 2 bar. Alle temperaturer (T1-3) er temperaturer på produktets overflade, men i forskellige positioner, se figur 5.4.



Figur 5.4 Træflis anvendt i matematisk model.



Figur 5.5a. Tørring med varm luft ved 170 °C, 2 bar



Figur 5.5b. Tørring med overhededt damp ved 170 °C, 2 bar.

Figuren 5.5a for tørring i varm luft viser, at produktets overflade meget hurtigt antager mætningstemperaturen for vanddampen i tørreluften (61°C). Endvidere ses, at tørretrin 1 er tilendebragt meget hurtigt (under 5 minutter). Det antyder, at den interne fugttransport i træ forløber langsomt. I det aktuelle tilfælde er hele tørreforløbet tilendebragt efter ca. 35 minutter, når tørringen foretages med luft. Figur 5.5b for tørring med overhededt damp viser visse afgørende forskelle fra tørring med luft. For det første er temperaturen af produktets overflade nu ca. 120°C, svarende til dampens mætningstemperatur ved 2 bar. Endvidere tager tørretrin 1 betydeligt længere tid end ved tørring med luft i det konkrete tilfælde. Det skyldes tre forskellige forhold. Når der anvendes overhededt damp vil overfladetemperaturen af produktet hurtigt antage samme temperatur som dampens mætningstemperatur. Der vil derfor i forhold til tørring med luft ske en hurtigere opvarmning af produktet, hvilket medvirker til at "drive" fugt inde i produktet frem til

overfladen, og overfladen holdes således fugtig i længere tid end ved anvendelse af luft som tørremiddel. I det konkrete tilfælde der er vist med figur 5.5a-b, er temperaturen i tørreanlægget antaget at være 170°C, der er under inversionstemperaturen. Derfor er varmetilførslen større med luft end med overhedet damp, hvilket medfører, at overfladen hurtigere udtørres. Endelig vil der, når der anvendes overhedet damp, ske udkondensering af damp på produktet i starten, da produktet er koldere end dampen. Der tilføres således produktet fugt i starten af tørreforløbet, og denne fugt skal ligeledes fjernes under tørringen. Dette fænomen er ikke uden betydning for den totale tørretid. Den samlede tørretid ved anvendelse af overhedet damp er i dette tilfælde beregnet til ca. 45 minutter.

Som nævnt vil tørrehastigheden i tørretrin 1 være lavere for tørring i overhedet damp, så længe temperaturen i tørreanlægget er under inversionstemperaturen. Tørrehastigheden i tørretrin 2 vil formentlig også være lidt lavere, når der tørres med overhedet damp. I tørretrin 3 vil tørrehastigheden udelukkende være styret af intern fugttransport i produktet, og er dermed uafhængig af tørremidlets fugtighed. Forskellene i tørrehastighed og dermed tørretid mellem tørring i luft og i overhedet damp aftager, når temperaturen øges. I tilfældet med tørring af træflis vil tørretiden være ca. 60 minutter ved tørring med luft og ca. 75 minutter med overhedet damp, når temperaturen 140°C. Hvis temperaturen øges til 180°C vil tørretiden med luft være ca. 35 minutter og ca. 40 minutter med overhedet damp.

I princippet kan alle tørrekoncepter med direkte tørring med luft, røggas eller lignende helt eller delvist konverteres til tørring med damp, men hensynet til produktkvalitet kan give visse begrænsninger. Som tidligere nævnt vil produktets overflade have en temperatur svarende til mætningstrykket for den cirkulerende damp ved tørring i overhedet damp, hvilket ved atmosfæretryk vil sige 100°C. For nogle produkter vil en overfladetemperatur på 100°C eller mere være alt for høj, og temperaturen og dermed trykket i tørreren må sænkes. Det betyder, at tørreren skal fungere ved undertryk, hvilket i praksis giver problemer med indtrængende luft, der i øvrigt vanskeliggør genanvendelsen af afdampen. Af hensyn til mulighederne for genanvendelse af varmen i afdampen er det en fordel, at tørreren er tryksat, så temperaturen af afdampen er høj og fri for atmosfærisk luft. Derfor fungerer de fleste anlæg for tørring i overhedet damp ved mellem atmosfæretryk og op til 3 bar. Tørring i overhedet damp under vakuum (ca. 0,1 bar) findes inden for træindustrien i den danskudviklede Moldrup-tørrer. Denne unikke teknik er patenteret og fuld kommerciel. Tørreren er nærmere beskrevet i kapitel 4.

Sammenhængen mellem damptryk og temperaturen for mættet damp ses i tabel 5.1.

Damptryk [bar]	Mætningstemperatur [°C]
0,1	46
0,3	69
0,5	81
0,8	94
1,0	100
2,0	120
3,0	134
4,0	144
5,0	152

*Tabel 5.1. Temperatur for mættet damp.*

I industrien er behovet for procesvarme ofte fra 100°C (til f.eks. kogning) og opefter. Derfor vil det tit være en nødvendighed at drive tørreprocessen under tryk, hvilket af produkthensyn giver en række begrænsninger for teknologiens udbredelse. Dette er beskrevet nærmere i kapitel 7. Endvidere er det således, at hvis der kræves en meget lave restfugtighed i produktet, er tørring i overhedet damp knap så velegnet.

Hvis et tørreanlæg forsynes med damp ved et højere tryk, vil kapaciteten af tørreanlægget forøges. Hvis det antages, at trykket (og dermed temperaturen) fra dampforsyningen holdes på en given værdi vil det være således, at der er et tryk i tørrekammeret, hvor kapaciteten af tørreanlægget er størst. Hvis trykket i tørrekammeret er højere end det optimale tryk, vil temperaturdifferensen mellem dampforsyningen og dampen i tørrekammeret reduceres og kapaciteten falder. Og hvis trykket i tørrekammeret er lavere end det optimale tryk vil den lavere masse af den cirkulerende damp i tørrekammeret (og dermed varmekapaciteten) have større indflydelse på tørrerens kapacitet end den forøgede temperaturdifferens mellem dampforsyningen og dampen i tørrekammeret.

## 6. Tørreteknologier

Der udviklet en række forskellige teknologier til tørring i overhedet damp, da forskellige produkter stiller forskellige krav til procesbetingelserne under tørringen, og da forskellige produktgrupper har forskellige fordele af at blive tørret i overhedet damp.

I dette kapitel beskrives de vigtigste grunde til, at teknologier til tørring i overhedet damp er udviklet. Kombinationen af en eller flere af de nedenfor nævnte fordele har generelt været den drivende kraft bag udviklingen af teknologier for tørring i overhedet damp.

### Effektiv energiudnyttelse

Visse produkter er meget energikrævende at tørre i forhold til værdien af produktet, f.eks. restprodukter fra landbrug og levnedsmiddelindustri. Udgiften til energiforbrug til tørring af disse lavprisprodukter skal være så lav, at det kan betale sig at tørre produktet. Der er derfor udviklet tørreteknologier til tørring i overhedet damp, hvor der er fokuseret på effektiv energiudnyttelse ved tørring af disse produkter.

### Høj produktkvalitet

Visse produkter opnår kvalitetsmæssige fordele ved tørring i overhedet damp. Da tørringen foregår i iltfri atmosfære, sker der ingen oxidation af produktet, hvilket kan være en stor fordel ved visse typer tørregods. Selve tørreprocessen forløber anderledes, idet vandkoncentrations- og temperaturgradienter er mindre ved tørring i overhedet damp, hvilket ved f.eks. ved tørring af keramik eller tømmer giver bedre produkter.

### Hurtigere tørreproces

Ved tørring i overhedet damp foregår tørreprocessen på en anden måde end ved tørring i luft, se kapitel 5. Afhængig af produktet og temperatur- og trykniveau i tørreenheden forløber tørreprocessen hurtigere eller langsommere ved tørring i overhedet damp. En række producenter af tørreenheder til tørring i overhedet damp fremhæver reduceret tørretid som et væsentligt argument. Dette gælder for eksempel vakuamtørring af træ og tørring af keramik. Selv om investeringen i et tørreanlæg for tørring i overhedet damp er større pr. reaktorvolumen, kan investeringen pr. tørret enhed være mindre, såfremt tørretiden er kortere.

### Intet svind

Ved konventionel tromletørring af f.eks. roepulp og flis kan der være meget svind, idet dele af materialet brændes af. Over 10% svind er ikke unormalt. Ved tørring af overhedet damp i iltfri atmosfære kan materialet ikke brænde. Og da vandkoncentrations- og temperaturgradienterne er mindre ved tørring i overhedet damp, sprækker tørregods der tørres i dampatmosfære ikke så ofte som tørregods, der tørres på traditionel vis, hvorved svindet bliver mindre. Dette drejer sig f.eks. om tørring af keramik og tømmer.

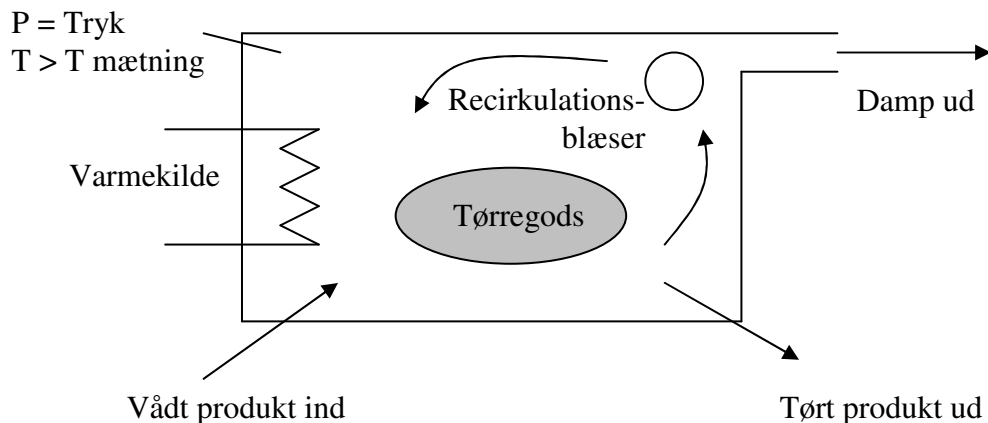
### Bedre miljø

Endelig er der udviklet koncepter for tørring af overhedet damp med det formål at undgå emissioner, lugt- og andre miljøgener. Ved tørring i overhedet damp er der ingen emissioner og lugt. De stoffer, der måtte forlade tørregodset foruden vanddamp, strøm-

mer med afdampen og ender i kondensatet efter kondensering af afdampen. Herved opnås yderligere en betydelig miljøgevinst. Kondensatet kan dog indeholde problematiske stoffer, som skal fjernes før udledning.

## 6.1 Generelle forhold ved tørring i overhedet damp

Der er udviklet en række forskellige koncepter af tørreanlæg, hvor overhedet damp er tørremidiet. Spændet går fra store lukkede tørrestuer til tørring af tømmer over fluidbed tørring af salte til små tørreskabe til tørring af keramik, se kapitel 4. Alle koncepterne består dog af de samme grundkomponenter og baserer sig på de samme fysiske love, se kapitel 5.



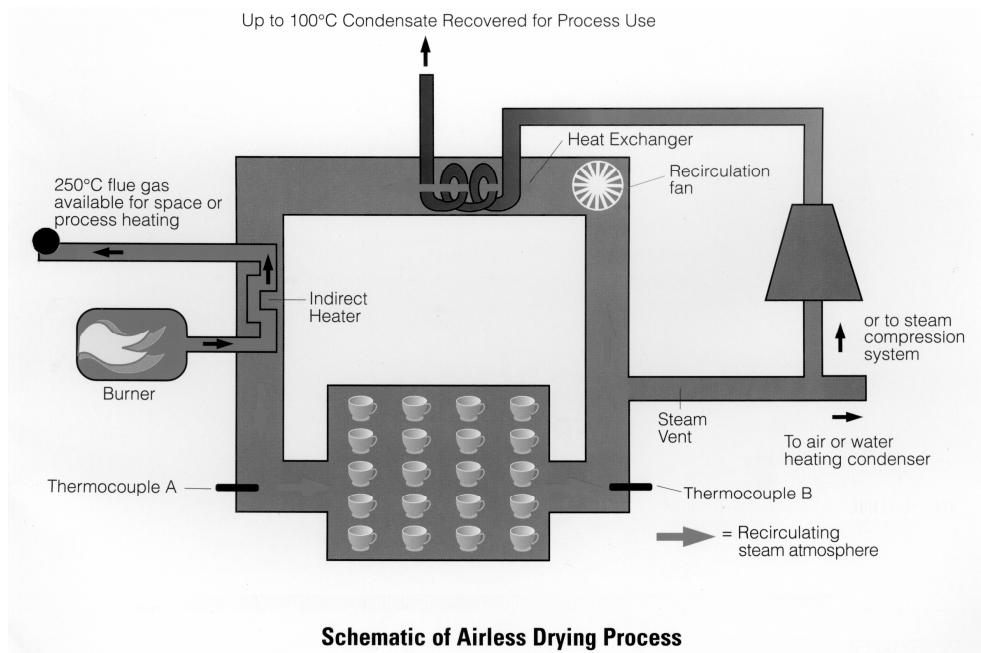
Figur 6.1 Principiel opbygning af typisk tørreenhed til tørring i overhedet damp.

Med figur 6.1 er der vist en principiel opbygning af en tørreenhed til tørring i overhedet damp. Tørreenheden består af en varmekilde, en blæser der giver intern cirkulation samt af et udløb til den borttørrede fugt (afdampen). Hvis tørreenheden er kontinuert virkende, er der et slusesystem til transport af tørregods ind og ud af tørreenheden.

I de følgende afsnit beskrives variationerne af opbygningen af tørreenhederne til tørring i overhedet damp og de komponenter, der indgår i tørreenhederne.

## 6.2 Varmekilde

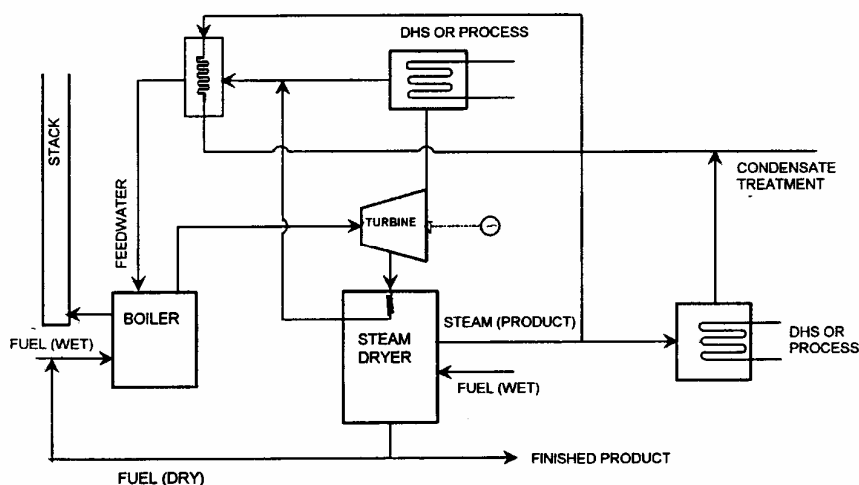
Til mindre anlæg benyttes typisk gas eller hedtolie som varmekilde, men damp eller røggasser kan også benyttes. Ved dampkompression kan energien i afdampen benyttes som supplerende varmekilde til tørreprocessen. Elforbruget til dampkompressionen skal dog medtages i energiregnskabet, og dette betyder, at fordelen ved dampkompression reduceres.



Figur 6.2 Skematisk tegning af "Airless Drying" batchproces.

På figur 6.2 ses en skematisk tegning af et tørreanlæg for en batchproces. Der benyttes gas som varmekilde, og det er vist, hvordan energien i afdampningen kan udnyttes i tørreprocessen ved dampkompression.

Større damp-tørreanlæg (NIRO, EnerDry og Stork) kan med stor energifordel integreres i en kraftproducerende dampkreds. Ved at benytte mellemtryksdamp fra dampkredsen som varmekilde i tørreenheden mistes en lille elproduktion, men den totale varmeenergi kan gend findes som afdamp fra tørreenheden, blot på et lavere trykniveau. Hvis denne afdamp har et tilpas højt tryk, kan den udnyttes som varmekilde til andre processer, som f.eks. inddampning af saft eller til fjernvarmeproduktion, se figur 6.3.



Figur 6.3 Skematisk tegning af tryksat tørreenhed, hvor varmekilden er mellemtryksdamp fra en turbine.

Det ses på figur 6.3, hvordan afdampen fra en tryksat damptørreenhed kan udnyttes til fjernvarmeproduktion (DHS - District Heating System), proces eller til forvarmning af fødevand til kedlen. I Danmark er konceptet med mellemtryksdamp som varmekilde til tørreanlæg bedst kendt gennem NIRO's tryktørrer. Her benyttes afdampen til inddampning af saft i en femtrins inddamper.

### **6.3 Tryk og temperatur i tørreenhed**

For at kunne tørre med overhedet damp skal temperaturen i tørreenheden være højere end temperaturen ved mætningstrykket. Temperaturen skal endvidere holdes så meget over mætningstemperaturen, at der ikke sker kondensation på kolde flader. Temperaturen må dog ikke være højere, end hvad tørregodset kan tåle. Der er udviklet tørreenheder til tørring i vakuum, ved atmosfæretryk og under tryk.

#### **6.3.1 Tørring med overhedet damp i vakuum**

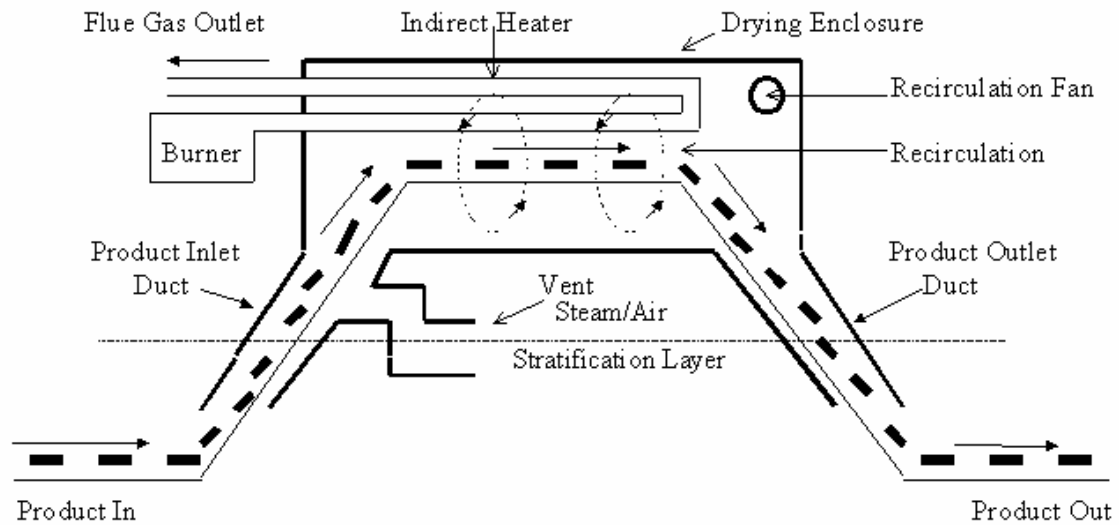
Tørring med overhedet damp i vakuum benyttes til temperaturfølsomme produkter. I dag er det kun træ, der tørres i vakuum. Ved tørring i vakuum kan energien i afdampen være vanskelig at nyttiggøre, hvorved energibesparelsen ved teknologien reduceres. Hvis der benyttes kontakttørring til en tørreproces, reduceres energiforbruget pr. kg afdampet vand ikke nødvendigvis ved indførelse af tørring i overhedet damp, se også kapitel 6.4.

Tørring med overhedet damp i vakuum anvendes kun til batchvis tørring. Da kontinuerlige anlæg ikke kan laves 100% tætte, vil et kontinuert anlæg under vakuum få luft ind i anlægget og miste undertrykket.

#### **6.3.2 Tørring med overhedet damp ved atmosfæretryk**

Så vidt vides arbejder kun Heat-Win, Atlas Industries A/S og Swiss Combi med tørring i overhedet damp ved atmosfæretryk. Ved at tørre ved atmosfæretryk kræves der ikke komplet tætte sluser, og energien i afdampen kan udnyttes ved kondensationstemperaturen på 100°C.

Heat-Wins løsning på at sluse produkter ind og ud af tørreanlægget, er helt at undgå mekaniske tætninger, idet det udnyttes at damp er lettere end luft, hvorved der sker en lagdannelse. Tørregodset transporteres op i tørreenheden, og ved passage af lagdelingen omslutter dampen fuldstændigt produktet. Heat-Win's anlæg er beskrevet i kapitel 4.5.9.



Figur 6.5 Skematisk tegning af "Airless Drying" kontinuert proces.

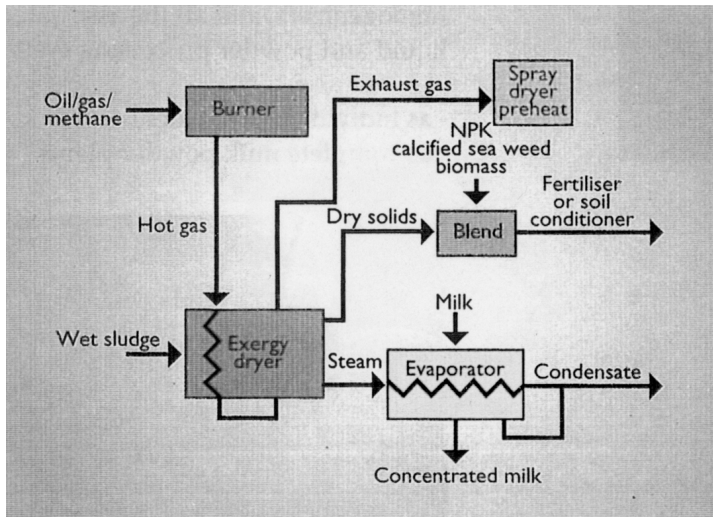
### 6.3.3 Tørring med overhedet damp under tryk

Der er hovedsageligt én grund til at tørre i overhedet damp under tryk: Jo højere trykket er i tørreenheden, jo højere er damptemperaturen, og muligheden for at udnytte energien i afdampningen til andre varmekrævende processer bliver større. Som eksempel herpå kan nævnes, at Niro's tryktørrer er designet til at køre ved 3 bar, for at afdampningen kan benyttes til inddampning af saft. Herved erstatter tryktørreren varmekilden til inddamperen, og store energibesparelser opnås. Ved at tørre ved høj temperatur opnås tilmed en hurtig tørreproces, hvorved der opnås stor tørrekapacitet pr. reaktortvolumen.

Tørring med overhedet damp under tryk har haft et langt og problematisk udviklingsforløb, idet der har været en række tekniske problemer med teknologien i en lang årrække. Et af de største problemer har været, at sluserne til at føre tørregodset ind og ud af tørreenheden har haft kort levetid.

De kendte tørrekoncepter til tørring under tryk (NIRO, EnerDry og Stork) er alle udviklet til at blive forsynet med varme fra udtagsdamp, se kapitel 6.2. Dette er dog ingen forudsætning for med fordel at tørre under tryk. Stork har da også tryksatte tørreanlæg, hvor varmekilden er en brænder, se figur 6.6.



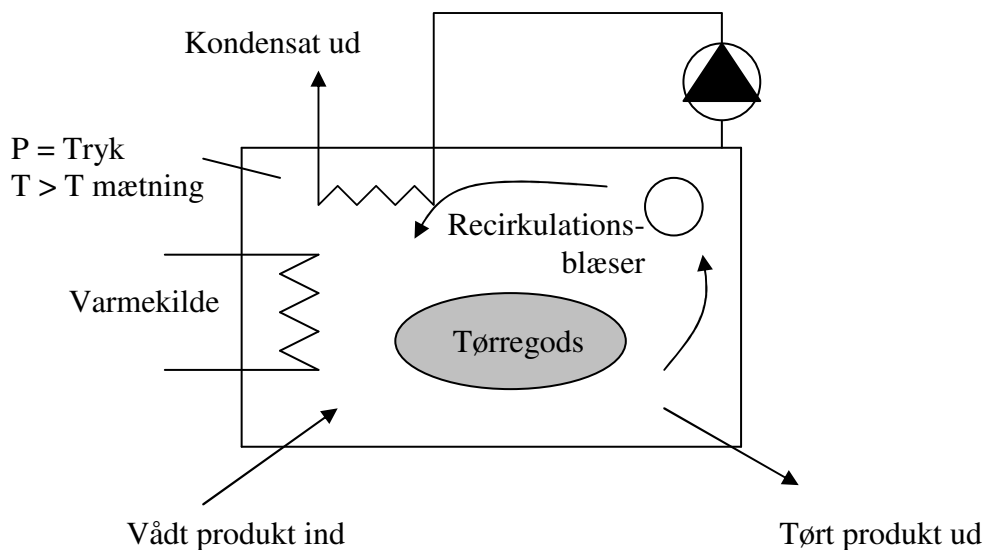


Figur 6.6 Tryksat "Exergy tørreenhed", hvor varmekilden er en almindelig brænder.

## 6.4 Udnyttelse af afdampningen

Ved tørring i overhedet damp kan den latente varme (kondensationsvarmen) i afdampningen lettere udnyttes, idet dugpunktet er meget højere end ved konventionel konvektionstørring, og energiintensiteten i afkastet er langt større. Ved tørring i atmosfæretryk eller ved tryksat tørring er dugpunktet 100°C eller mere, og udnyttelsesmulighederne er derfor gode. Ved tørring i vakuum derimod er det svært at udnytte varmen i afkastet fra tørreanlægget.

Hvis der ikke er varmegrundlag eller mulighed for udnyttelse af kondensationsvarmen uden for tørreenheden, kan energien udnyttes til tørreprocessen ved at komprimere afdampningen til et højere tryk og anvende den som supplerende varmekilde til tørreprocessen. Elforbruget til dampkompressionen skal dog medtages i energiregnskabet, og dette betyder, at fordelene ved dampkompression reduceres.



Figur 6.7 Tørring i overhedet damp med dampkompression.

## 6.5 Kontinuert tørring eller batchtørring

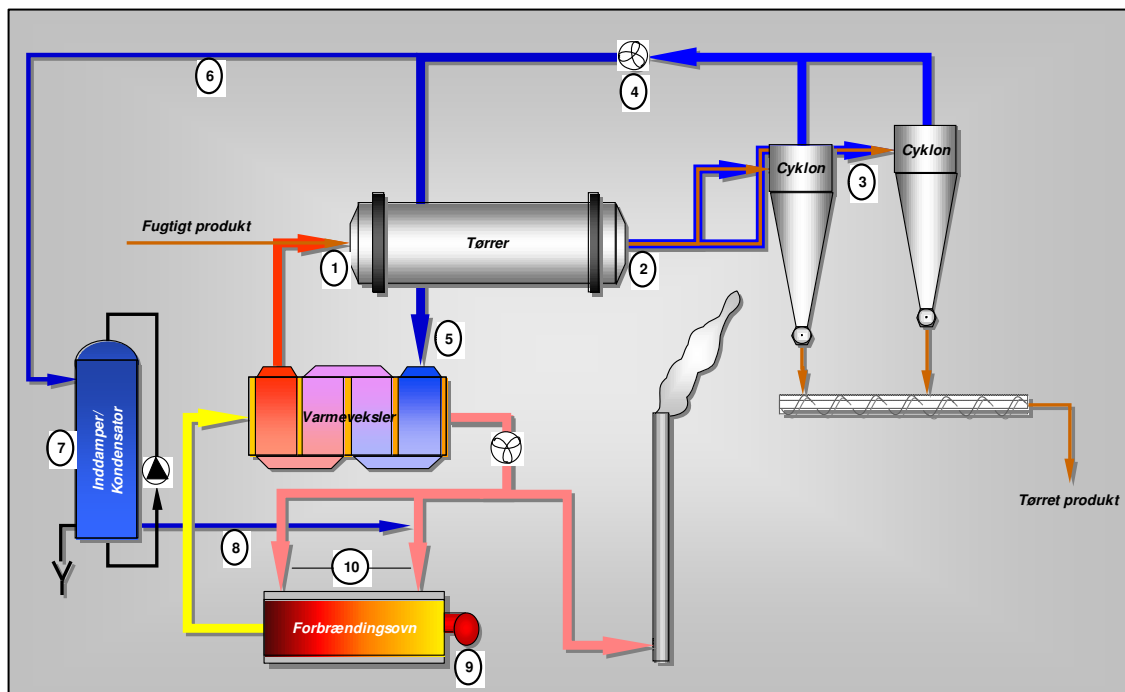
De fleste tørreenheder til tørring i overhedet damp er udviklet til kontinuert virkende processer. Af batchtørring findes vakuomtørring af træ og Heat-Win's tørrekamre, som er udviklet til tørring af hovedsagelig keramik.

Kontinuerte tørreprocesser under vakuum og under tryk stiller høje krav til tætninger. Der er ikke udviklet kontinuerte anlæg til tørring under vakuum og det vurderes, at de meget høje krav til tætninger gør, at der ikke bliver udviklet sådanne anlæg. De tryksatte anlæg har igennem en årrække haft en del problemer med utætte sluser, der nu ser ud til at være løst ved at anvende en ny forbedret sluseteknologi.

## 6.6 Recirkulation

Mængden af recirkulation af dampen varierer meget fra proces til proces. I fluid bed systemerne hvor dampen både er tørre- og transportmedie, er der stor recirkulation. Denne er mindre i tørrekammerne, men det er dog vigtigt at holde en vis flow over tørre-godset, så tørrehastigheden ikke reduceres. Elforbruget til recirkulation er betydeligt for energiøkonomien for tørreanlæggene, men fremgår sjældent af brochuremateriale m.m..

Tromletørring med overhedet damp adskiller sig fra de øvrige koncepter for overhedet damp ved, at der ikke sker intern recirkulation af dampen i tørrekammeret. I stedet foregår recirkulationen udenfor kammeret, hvor tørremidiet dels opvarmes i en varmeveksler og dels recirkuleres af blæsere, se figur 6.8.



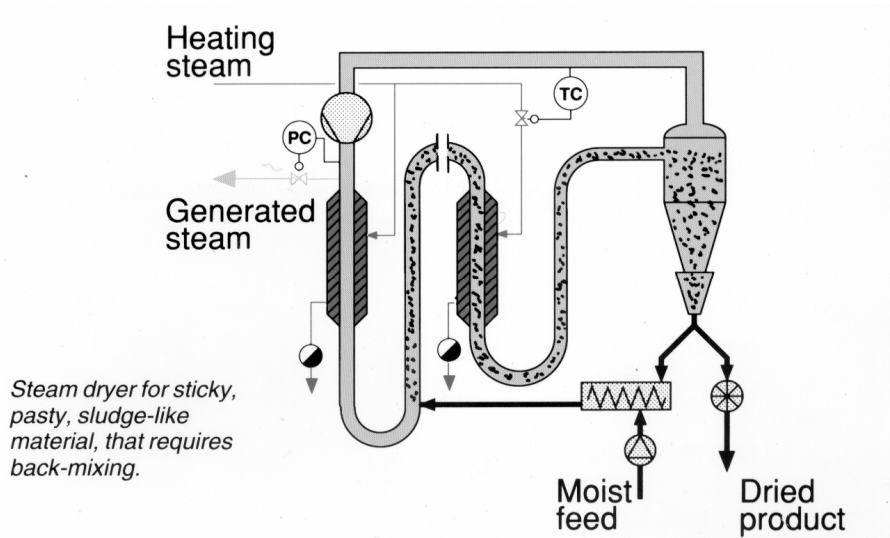
Figur 6.8. Procesdiagram over Atlas Industries's tromletørrer HADEx.

## 6.7 Fixed bed eller fluid bed

Teknologier til tørring i overhedet damp er udviklet til både "fixed bed" (tørregodset ligger stille) og til fluid beds (pneumatisk transport af godset).

Ved tørring i fluid bed opnås særdeles hurtige tørretider. Tørring i en "Exergy"-tørreenhed tager således fra 10-100 sekunder afhængig af produktet, temperaturniveau mm. Tørring af roepulp og træflis i NIRO's eller EnerDry's tryktørrer foregår indenfor 5 minutter.

Produkter som for eksempel slam, der umiddelbart ikke er velegnede til tørring i fluid beds pga. flydende konsistens, kan gøres anvendeligt til fluid bed tørring ved at blande tørret produkt i det fugtige, se figur 6.9.



Figur 6.9 Skitse tørringsystem der benytter back-mixing ved tørring af klistrende eller slam-lignende materiale.

## 6.8 Økonomiske betragtninger ved tørring i overhedet damp

Tørreanlæg, der benytter overhedet damp som tørremiddel, er dyrere end konventionelle anlæg, hvis de sammenlignes med hensyn til størrelse. Tørreanlæg for overhedet damp kan imidlertid have en række økonomiske forskellige fordele så som:

- lavere energiforbrug og dermed mindre energiudgift.
- kortere tørrehastighed og dermed større kapacitet pr. volumen
- bedre produktkvalitet, hvilket kan give større indtjening på produkterne
- mindre svind, f.eks. ved at færre produkter bliver ødelagt eller brændt væk.

Ved tørring i overhedet damp opnås der som regel en eller flere ovennævnte fordele, hvorved der er mulighed for at indtjene merudgiften på anlægget. En kombination af for

eksempel reduceret energiforbrug og hurtigere tørretid pr. emne kan være god økonomisk begrundelse for konvertering til tørring i overhedet damp.

## 7. Anvendelighed af tørring i overhedet damp

Udskiftning af et konventionelt tørreanlæg med et anlæg, hvor der tørres i overhedet damp, kræver at en række faktorer går op i en højere enhed. Implementeringen af tørring i overhedet damp i dansk industri er som ved implementering af meget anden ny teknologi betinget af faktorer som:

- Teknologiens egnethed til industriens produkter og processer
- Anlæggenes kommercielle tilgængelighed
- Økonomiske og tekniske forhold

Produktet/tørregodset skal kunne tåle temperatur- og trykniveauet ved tørring i damp. Tørring med overhedet damp foregår typisk ved et tryk på 1-3 bar og 100-150°C.

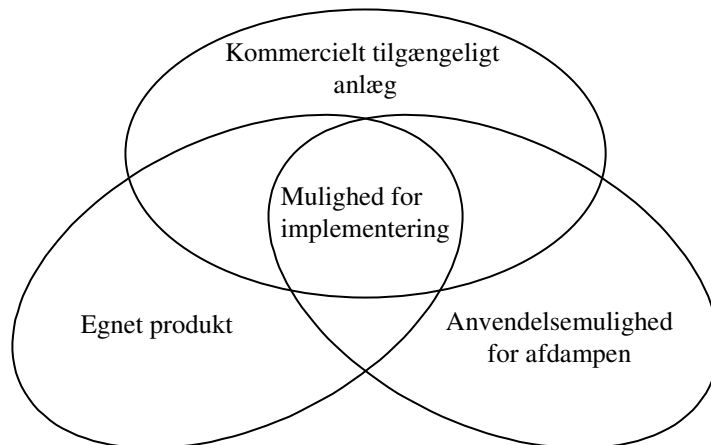
Der skal normalt være mulighed for genanvendelse af afdampen fra tørreanlægget, for at tørreanlægget bliver rentabelt i forhold til konventionelle anlæg. Ved udnyttelse af afdampen bliver tørreanlægget betydeligt mere energieffektivt end konventionelle anlæg, og anlæggets driftsøkonomi forbedres meget betydeligt.

Der findes kommercielle tørreanlæg til tørring af træ, baseret på princippet om tørring i overhedet damp, men tørringen foregår under vakuum. På disse anlæg genvindes energiindholdet i afdampen ikke.

Ved tørring i damp ved atmosfærisk tryk kan det være en energiøkonomisk fordel at rekomprimere afdampen og genanvende den i tørreenheden, såfremt denne ikke kan anvendes fornuftigt andetsteds. Tørring i damp ved atmosfæretryk har visse fordele frem for tørring i overhedet damp. Man undgår blandt andet at skulle forsyne anlægget med sluser til tørregodset for at holde tørrekammeret tryksat.

For at teknologien skal have gennemslagskraft i dansk industri, skal der være kommercielt tilgængelige tørreanlæg på markedet. Leverandører og producenter skal være i stand til at levere de anlægstyper, som industrien ønsker.

Succeskriteriet for implementering af anlæg til tørring i overhedet damp i industrien kan illustreres med nedenstående figur.



Figur 7.1 Succeskriteriet for implementering af teknologien i industrien er repræsenteret ved figurens fællesmængde.

## 7.1 Økonomiske og tekniske barrierer for implementering

Sammenlignet med konventionelle tørreanlæg gælder der generelt om anlæggene til tørring i overhedet damp, at de er dyrere i anskaffelse. Det skyldes, at anlæggene ofte er mere komplicerede end konventionelle anlæg.

Det kan være en økonomisk barriere, at anlægsprisen for dampptørreanlæg er høj, og at investeringens tilbagebetalingstid ofte er på over 5 år. Hvis tørring i overhedet damp som teknologi skal vinde indpas i dansk industri, skal anlæggenes pris og rentabilitet være konkurrencedygtig med konventionelle tørreanlæg.

Energipriserne er p.t. lave, hvilket ikke er særligt gavnligt for tilbagebetalingstiden for anlæg til tørring i overhedet damp. Da industrien har en forholdsvis kort investeringshorisont, skal investeringer i energibesparelser være tilbagebetalt på højst 3-4 år og gerne på 1-2 år.

Tørring i overhedet damp er teknisk en mere kompliceret tørremetode end konventionel tørring med opvarmet tørreluft, hvilket har medført visse tekniske problemer på nogle af anlæggene. Der har f.eks. været problemer med tætheden af anlæggenes sluse- og indfødningsystemer, når tørreanlægget er tryksat. Desuden er der sket kondensering af dampen inde i anlægget på grund af kolde overflader, hvilket er meget uønsket.

For at anlægskonceptet bliver et fornuftigt alternativ til andre tørreanlæg, skal dets oppe-tid være på niveau med de konventionelle anlæg. Det samme gælder for udgifterne til drift og vedligeholdelse. Der er i dag stadigvæk kun få driftserfaringer med visse af anlægstyperne, hvilket betyder, at der stadigvæk kan være visse tekniske problemer forbundet med anlæggene. At anlæggene ikke er garanteret fri for "børnesygdomme" kan være en betydelig teknisk barriere, der forhindrer en større udbredelse af teknologi-

en i industrien. Barrieren kan kun fjernes ved fortsatte forsøgskørsler, udvikling af anlæggene, samt mest af alt industrielt implementerede anlæg.

Ved implementering af et anlæg med tørring i overhedet damp og udnyttelse af afdampningen involveres andre anlæg i driften, og der lægges derved bindinger på andre processer/anlæg i produktionen. Udnyttelsen af afdampningen kræver, at tørringen i overhedet damp integreres i de øvrige produktionsprocesser. Det kan i sig selv give tekniske problemer, men tørreanlægget kan også ændre de øvrige produktionsprocessers frihedsgrader og fleksibilitet. Disse indgreb i den eksisterende proces kan også virke som en barriere for teknologien.

Rent praktisk kan der endvidere være forskellige restriktioner på tørregodset, der gør det uegnet til tørring i overhedet. Det kan f.eks. være, at den maksimalt tilladelige temperatur af tørregodset overskrides, eller at tørregodset ikke kan bringes på en form, som tørreanlægget kan håndtere.

## **7.2 Miljøforbedringer og øget produktkvalitet**

Et vigtigt aspekt ved tørring i overhedet damp er, at der kan opnås en række miljøfordele ved teknologien sammenlignet med konventionel tørring, hvor afkastet i nogle tilfælde udledes direkte til omgivelserne.

Konventionel tørring af slam fra rensningsanlæg og affaldsprodukter fra levnedsmiddelindustrien giver ofte en række lugtproblemer. Tørring i overhedet damp foregår derimod i et lukket system, og medfører derfor ingen eller meget begrænsede emissioner af støv og lugt. Tørring i overhedet damp giver desuden mulighed for at opnå en pasteurisering, sterilisering eller deodorisering af tørregodset samtidig med tørringen.

Da tørringen foregår i en tilnærmelsesvis iltfri atmosfære, er der en meget lille risiko for brand eller ligende uønskede reaktioner i tørreanlægget eller afdampningen. Endvidere undgås misfarvninger af produktoverfladen på grund af oxidering. For produkter, der indeholder giftige eller meget dyre organiske væsker, kan disse genindvindes ved kondensation af afdampningen.

Tørring i overhedet damp giver for en række produkter mulighed for at opnå en forbedret produktkvalitet. For eksempel fås der ved damp-tørring af roesnitter til kvægfoder et slutprodukt med en højere næringsværdi end ved tørring i en konventionel tørretromle.

Miljøfordelene og mulighederne for forbedret produktkvalitet ved tørring i overhedet damp kan være et vigtigt incitament for implementering af teknologien.

## **7.3 Produkter og brancher**

Ved konventionel tørring med opvarmet tørreluft kan tørringen foregå ved temperaturer under 100°C. Dette er ikke muligt ved tørring i overhedet damp, medmindre tørringen sker under vakuum. Det betyder, at hvis f.eks. produktkvaliteten forringes ved tørring over 100°C, er det besværligt at tørre det i overhedet damp.

I visse kommercielt tilgængelige tørreanlæg med overhedet damp fluidiseres tørregodset. Dette stiller krav til tørregodsets emnestørrelse og robusthed. Tryktørreanlæggene fra Niro A/S og EnerDry er især velegnede til tørregods med ”pommes frites” størrelse. Det skal undgås, at produktet er for klægt eller bliver trævlet og uldagtig under tørringen, for at det ikke sætter sig fast på indersiden af tørreanlægget.

De former for tørregods, der ikke kan tåle at blive tørret i en tryksat fluid bed, kan eventuelt tørres i en af anlægstyperne fra Heat-Win, som er nærmere beskrevet i kapitel 4.5. Disse anlæg er velegnede til både batchvis og kontinuert tørring af større emner, som f.eks. tegl og keramik. Tørringen foregår med overhedet damp ved 100°C og under atmosfæretryk.

De nedenfor listede produkter, som forekommer i dansk industri, er en bruttoliste over produkter, der kunne være velegnede til tørring i overhedet damp.

For nogle af produkternes vedkommende har driftserfaringer fra ind- og udland allerede vist, at de er velegnede til tørring i overhedet damp. De øvrige produkter er kun forsøgsvist blevet tørret i overhedet damp.

- Roesnitter fra sukkerproduktionen
- Mask fra bryggerier og destillerier
- Træflis til biobrændsel
- Træspåner til spånpladeproduktion
- Grøntafgrøder til foder (græs og lucerne)
- Fiskemel
- Kød- og benmel
- Keramiske produkter
- Tegl
- Papir
- Tekstil
- Valle
- Slam afvandet til et tørstofindhold på mindst 35%

Roesnitter er et spildprodukt fra sukkerproduktionen, som efter tørring anvendes til dyrefoder. Produktkvaliteten forøges ved tørring i overhedet damp. En række erfaringer har vist, at produktet er velegnet til tørring i overhedet damp.

Mask er et affaldsprodukt fra øl- og spiritusproduktion og består typisk af byg- eller kartoffelpulp. Masken fra bryggerier bliver opsamlet i en silo og normalt solgt direkte som våd mask (ca. 20% tørstof) til kreaturfoder. Bryggerier har egen dampforsyning og gode muligheder for genanvendelse af afdampen. Det vurderes derfor, at tørring i overhedet damp er en velegnet teknologi til tørring af masken.

Masken fra spritfabrikkerne (produktion af snaps og vodka) tørres ikke, men køres direkte til landbruget som foder. Ved produktion af gær og melassesprit kaldes spildproduktet for spøl. Det inddampes og sælges som foder. Det vurderes, at tørring i overhedet damp er en velegnet teknologi til tørring af mask fra spritfabrikker.



Træflis anvendes som biobrændsel. Tørring af træflisen giver et lavere vandindhold og dermed en bedre brændværdi med heraf følgende lavere CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> emissioner. Endvidere fås en mindre røggasmængde, der skal håndteres efter forbrændingen. Svenske erfaringer har vist, at produktet er velegnet til tørring i overhedet damp.

Træspåner anvendes til spånpladeproduktion. Der er ingen umiddelbare genanvendelsesmuligheder for afdampningen ved spånpladeproduktionen. Derfor vurderes det, at tørring i overhedet damp ikke er mere velegnet til tørring af træspåner ved spånpladeproduktionen end konventionelle tørreknogler.

Grøntafgrøder tørres konventionelt ved høje temperaturer (indgangstemperatur på 1000°C). Både danske og udenlandske erfaringer viser, at produktet er velegnet til tørring i overhedet damp.

Fiskemel anvendes til bl.a. minkfoder. Produktkvaliteten vil formentlig blive forringet, hvis det tørres ved høje temperaturer. Produktet er derfor næppe velegnet til tørring i overhedet damp, da dette skal foregå ved 150-180°C for at afdampningen kan genanvendes på virksomheden.

Kød- og benmel Der er risiko for, at produktet ved høje temperaturer sætter sig på indersiden af tørreknoglet, da det indeholder nogle limstoffer. Ved en fluidisering af produktet f.eks. i et tryktørreanlæg opnås en mere jævn varmefordeling og –styring. Hermed mindskes risikoen for at produktet sætter sig fast, og det vurderes til at være egnet til tørring i overhedet damp.

Keramiske produkter Der er gode udenlandske erfaringer med tørring af keramiske produkter i damp ved atmosfæretryk, hvor afdampningen rekomprimeres og recirkuleres.

Tegl. Tørringen af tegl på danske teglværker foregår med afkastluften fra brændingen af teglet. Det vil umiddelbart ikke være fordelagtigt at substituere tørreluften med overhedet damp. Tørring og brænding af tegl er allerede to integrerede processer, og brændingen foregår ved så høje temperaturer, at det ikke er muligt at anvende overhedet damp til denne proces.

Papir Der er udført en række forsøg i udlandet med tørring af papirbaner i overhedet damp, og resultaterne har været gode. Udover en energibesparelse opnås ofte en produktforbedring i form af højere brudstyrke for papiret. Der findes p.t. ingen kommercielle anlæg til tørring af papirbaner i overhedet damp, selv om papirbaner vurderes til at være egnet til tørring i overhedet damp.

Tekstil Der er ingen driftserfaringer med tørring af tekstilbaner i overhedet damp, og der findes p.t. ingen kommercielle anlæg til tørring af tekstilbaner i overhedet damp. Afdampningen kan eventuelt anvendes til opvarmning af procesvand til forbehandling, udvaskning og farvning. Tørring af tekstilbaner er sammenligneligt med tørring af papirbaner, og tekstil vurderes at være egnet til tørring i overhedet damp.

Valle Forsøg med tørring af valle i Irland viser, at energiforbruget kan reduceres med 80%, sammenlignet med et konventionel tørreanlæg, såfremt energiindholdet i den gen-

anvendte afdamp godskrives tørreprocessen [ref. 7]. Den tørrede valle tænkes anvendt som gødning eller biobrændsel. På danske mejerier spraytørres vallen til et proteinholdigt slutprodukt kaldet funktionelt mælkeprotein, der anvendes i levnedsmiddelindustrien. Tørringen foregår ved max. 85°C og med meget kort opholdstid for produktet i tørreanlægget for ikke at ødelægge proteinerne og forringe produktkvaliteten. Tørregodsets opholdstid i tørreanlæg for overhedet damp vil være alt for lang og temperaturen for høj til, at produktkvaliteten opretholdes, så tørring af valle i overhedet damp ikke aktuel på danske mejerier.

Slam fra rensningsanlæg er et spildprodukt, der blot skal være tørt efter endt tørring. Det er et krav til slammet, at det inden tørringen er anaerobt nedbrudt og afvandet til et tørstofindhold på mindst 35%. Tørring i overhedet damp vurderes til kun at være fordelagtig på større rensningsanlæg, hvor der er brug for en tørrekapacitet på over 2 tons fordampet vand pr. time [ref. 8].

## 7.4 Anvendelsesmuligheder for afdampen

For at opnå et lavt specifikt energiforbrug ved tørring i overhedet damp, er det fordelagtigt, at tørreanlægget integreres i en proces, hvor der er genanvendelsesmuligheder for afdampen.

Genanvendelsen af afdampen skal foregå så ukompliceret og tabsfrit som muligt. Derfor bør afdampen anvendes internt i virksomheden til en proces, der forløber samtidigt med tørringen. Det kan for eksempel være en forudgående inddampning eller kogning af produktet.

Afdampen kan principielt anvendes til fjernvarmeproduktion, men det vurderes, at denne genanvendelsesmulighed ikke er så fordelagtig som intern genanvendelse af afdampen i virksomheden. Fjernvarmeproduktionen i Danmark er i forvejen fuldt tilstrækkelig og flere områder har i visse perioder overproduktion af fjernvarme.

På følgende produktions- og procesanlæg i dansk industri vurderes det, at der er gode genanvendelsesmuligheder for afdampen, samt at tørring i overhedet damp er en anvendelig teknologi:

- Tørring af roesnitter på sukkerfabrikker, hvor afdampen anvendes i inddamperne.
- Tørring af mask fra bryggerier, hvor afdampen anvendes til f.eks. inddampning af masken, urtkogning eller opvarmning af rengøringsvand.
- Tørring af mask fra destillerier, hvor afdampen kan anvendes til destillationskolonnerne.
- Tørring af biobrændsler på decentrale kraftvarmeværker, hvor afdampen anvendes til forvarmning af forbrændingsluften. Ved tørring af brændslet opnås endvidere den fordel, at der skal håndteres en mindre mængde røggas i den efterfølgende rensning af røggassen.
- Tørring af grøntafgrøder (græs og lucerne), hvor afdampen anvendes til kogning og inddampning af råvaren.

- Tørring af papirbaner, hvor afdampen anvendes til opvarmning af bagvandet på papirmaskinerne.
- Tørring af kød- og benmel, hvor afdampen anvendes til inddampning af limvand.
- Tørring af keramiske produkter, hvor afdampen rekomprimeres.
- Tørring af spildevandsslam på rensningsanlæg, hvor afdampen rekomprimeres eller anvendes til opvarmning af procesvand.
- Tørring af tekstilbaner, hvor afdampen anvendes til opvarmning af procesvand.

## **7.5 Besparelspotentiale**

Der er foretaget en vurdering af energibesparelspotentialet ved implementering af tørring i overhedet damp i de brancher i dansk industri, hvor der er gode anvendelsesmuligheder for teknologien i praksis.

Erfaringerne viser, at ved skift fra et konventionelt tørreanlæg til et tørreanlæg med overhedet damp kan det specifikke energiforbrug til tørring typisk reduceres fra 3.200-6.000 kJ/kg vand til 500-2.500 kJ/kg vand, alt efter hvorledes tørreanlægget kan integreres med virksomhedens øvrige produktionsprocesser.

Potentialet for energibesparelserne i dansk industri, ved at udskifte de konventionelle tørreprocesser med ovenstående processer med tørring i overhedet damp, er skønsmæssigt angivet i nedenstående tabel.

Proces	Besparelsespotentialer [TJ/år]
Roesnitter <sup>1)</sup>	490
Mask fra bryggerier <sup>2)</sup>	-
Mask fra destillerier <sup>3)</sup>	-
Biobrændsel <sup>4)</sup>	80
Grøntafgrøder <sup>5)</sup>	1.325
Papirbaner <sup>6)</sup>	1.470
Kød- og benmel <sup>7)</sup>	475
Keramiske produkter <sup>8)</sup>	20
Slam <sup>9)</sup>	80
Tekstilbaner <sup>10)</sup>	-

*Tabel 7.1 Skønsmæssige besparelsespotentialer ved substitution af de eksisterende tørreprocesser med tørring i overhedet damp.*

Kommentarer til beregning af besparelsespotentialerne i tabel 7.1:

- 1) Der anvendes årligt ca. 540 TJ til tørring af roesnitter ved sukkerproduktionen. Niro's tryktørrer giver ca. op til 90% energibesparelse, når man godskrider genanvendelsen af afdampen [ref. 9].
- 2) Masken fra fabrikkerne tørres i øjeblikket ikke, og besparelsespotentialer kan derfor ikke beregnes.
- 3) Masken fra spritfabrikkerne tørres i øjeblikket ikke, og besparelsespotentialer kan derfor ikke beregnes.
- 4) Biobrændsel tørres ikke i dag, men der kan opnås en energimæssig gevinst ved at tørrebrændslet, da brændværdien herved forøges. Den årlige energiproduktion baseret på træflis er på ca. 2.700 TJ, svarende til flismængde på godt 287.000 tons/år. Ved tørring reduceres vandindholdet fra 45% til 25%. Energiforbruget hertil er på et typisk svensk anlæg 900 kJ/kg fordampet vand [ref. 10]. Gevinsten ved tørringen bliver 2.500 kJ/kg – 900 kJ/kg = 1.400 kJ/kg. Da der fjernes 200 kg vand pr. tons træflis ved tørring bliver den samlede energimæssige gevinst på 80 TJ/år. Endvidere mindskes CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>-emissionerne.
- 5) Der anvendes årligt ca. 2.650 TJ til tørring af grøntafgrøder. Det specifikke energiforbrug er typisk 3.100 kJ/kg fordampet vand. Ved tørring af grøntafgrøder med overhedet damp ved atmosfæretryk opnås et specifikt energiforbrug på ca. 1.550 kJ/kg vand [ref. 11]. Indenfor branchen er der p.t. intet realistisk potentialer for anvendelse af tørring i overhedet damp. Det skyldes, at der ikke bygges nye anlæg, da branchen er trængt.
- 6) Der anvendes årligt ca. 2.940 TJ til tørring af papirbaner. Det specifikke energiforbrug ved konventionel tørring af papirbaner er ca. 3.000 kJ/kg vand. Ved tørring i

overhedet damp, hvor energiindholdet i den genanvendte afdamp godskrives, bliver det specifikke energiforbrug ca. 1.500 kJ/kg vand. [ref. 12]

- 7) Der anvendes årligt ca. 950 TJ til tørring af kød- og benmel. Ved kontakttørring i atmosfæretryk, med mættet damp som tørremiddel, er det specifikke energiforbrug stort set lig med vands fordampningsvarme på 2.500 kJ/kg vand. Ved tørring i overhedet damp, hvor genanvendelse af afdampen godskrives tørreprocessen, kan det specifikke energiforbrug nedbringes til 1.000-1.500 kJ/kg vand, svarende til reduktion på 40-60% [ref. 12].
- 8) Der anvendes årligt ca. 40 TJ til tørring af keramiske produkter. Ved tørring i overhedet damp, hvor energiindholdet i den genanvendte afdamp godskrives, skønnes det, at energiforbruget kan reduceres med 50%, og i visse tilfælde med op til 85% [ref. 13].
- 9) Det specifikke energiforbrug ved konventionel tørring af slam er 2.900-4.300 kJ/kg vand. Ved rekomprimering af afdampen kan det specifikke energiforbrug reduceres til 540 kJ/kg vand [ref. 8]. Det skal bemærkes, at alle 540 kJ/kg skal tilføres i form af el.
- 10) Der er, så vidt det vides, ikke udført forsøg med tørring af tekstilbaner i overhedet damp, men tørreprocessen er på mange måder sammenlignelig med tørring af papirbaner.

For de processer i tabel 7.1, hvor det har været muligt at beregne et skønsmæssigt besparelspotentiale, bliver det samlede potentiale for energibesparelser på 3.940 TJ/år, svarende til 20% af dansk industris samlede energiforbrug til tørring, baseret på 1995-tal. Det skal holdes for øje, at der er tale om et langsigtet besparelspotentiale, idet flere af de tørreanlæg, der er nødvendige for at opnå de anførte energibesparelser, stadig er under udvikling.

## 7.6 Kommercielle anlæg

Der findes på nuværende tidspunkt kun få kommercielle anlæg til tørring i overhedet damp. En del af de eksisterende anlæg til tørring i overhedet damp har p.t. status som forsøgsanlæg, eller er meget produktspecifikke anlæg udviklet internt i en produktionsvirksomhed.

Med udgangspunkt i leverandør- og anlægsbeskrivelserne i kapitel 4 og 6 vurderes det, at man kan anse følgende anlæg for at være kommercielt tilgængelige for dansk industri på kort sigt:

- Tryktørreanlæg fra Niro A/S
- Tryktørreanlæg fra EnerDry
- Moldrup-tørreanlæg fra IWT Iwotech Ltd.
- Damp-tørreanlæg fra Heat-Win Ltd. (Airless Drying)
- Damp-tørreanlæg fra Stork Engineering AB (Exergy Dryer)
- Flash-tørreanlæg fra IVO International Ltd. (Bed Mixing Dryer)

- Tørretromle fra W. Kunz Drytec (ecoDryer)

I bilag 1 er der vist en detaljeret leverandørliste.

Niro's tryktørreanlæg er udviklet til tørring af roesnitter, men kan også benyttes til tørring af flis, bark, brunkul, mask og slam. Der er 15 anlæg i drift over hele verden.

Tryktørreanlægget fra det danske firma EnerDry er ifølge producenten specielt velegnet til tørring af roesnitter, men kan også håndtere slam, træspåner, træflis, mask og andre affaldsprodukter fra levnedsmiddelindustrien og landbruget.

Moldruptørreanlægget anvendes kun til tørring af træ. Der findes i øjeblikket ca. 100 Moldruptørreanlæg på verdensplan.

Damp-tørreanlæggene fra Heat-Win findes både som batch og kontinuerte anlæg. Anlæggene leveres hovedsageligt til den keramiske industri. Der findes p.t. tre anlæg i England. De kontinuerte anlæg fra Heat-Win er stadigvæk prototyper.

Stork Engineering AB leverede i foråret 1997 et anlæg til Skellekraf i Sverige til tørring af biobrændsler. I Sverige findes endnu to anlæg af samme type i drift. Anlægstypen kan anvendes til tørring af en lang række produkter.

Der findes et flash-tørreanlæg fra IVO til tørring af biobrændsler i Kuusamo i Finland samt hos Örebro Energi i Sverige. Anlægget er især velegnet til biobrændsler med højt vandindhold.

Tørreanlægget ecoDryer fra W. Kunz Drytec AG findes hos DanGrønt i Ringkøbing, hvor det benyttes til tørring af grøntafgrøder. Udover grøntafgrøder er EcoDryer velegnet til tørring af biobrændsler. Anlægget i Ringkøbing er beskrevet som case i kapitel 8.

## **7.7 Implementering af tørring i overhedet damp på kort sigt**

Som det fremgår af det ovenstående er der i dansk industri identificeret en række fremstillingsprocesser, hvor tørring i overhedet damp vurderes at være anvendelig. Produkterne er egnede til tørring i damp samtidig med, at der er gode genanvendelsesmuligheder for afdampen internt i virksomheden.

Listen over kommercielt tilgængelige tørreanlæg indeholder anlægstyper, der skulle være i stand til at håndtere tørringen af produkterne i de egnede fremstillingsprocesser. Kombineres de egnede fremstillingsprocesser med de kommercielt tilgængelige tørreanlæg, kan der peges på følgende brancher i dansk industri med realistiske muligheder for implementering af tørring i overhedet damp.

<b>Branche</b>	<b>Tørring af</b>	<b>Anvendelse af afdamp</b>	<b>Leverandør af Tørreanlæg</b>
Bryggerier	Mask fra øl-Brygningen	Urtkogning, inddampning af mask, varmt rengøringsvand	EnerDry Niro Stork
Spritsfabrikker	Mask	Opvarmning af destillationskolonner	EnerDry Niro Stork
Sukkerfabrikker	Roesnitter	Inddampning	Niro EnerDry Stork
Decentrale Kraftvarmeværker	Biobrændsel	Forvarmning af forbrændingsluft	Niro A/S EnerDry Stork IVO W. Kunz Drytec
Fremstilling af keramiske produkter	Diverse keramiske emner	Afdampen rekomprimeres	Heat-Win
Kød- og benmelsfabrikker	Kød- og benmel	Inddampning af limvand	Niro EnerDry Stork
Rensningsanlæg	Anaerobt nedbrudt slam	Opvarmning af procesvand eller rekomprimering	Niro EnerDry Stork

*Tabel 7.2 Brancher i dansk industri med realistiske muligheder for implementering af tørring i overhedet damp.*

Det kan kort opsummeres, at succeskriteriet for en kortsigtet implementering af tørring i overhedet damp er en kombination af et egnet produkt, en proces med gode anvendelsesmuligheder for afdampen samt at der er et kommercielt tilgængelige tørreanlæg på markedet.

## **7.8 Implementering af tørring i overhedet damp på længere sigt**

En af de begrænsende faktorer for implementering af teknologien er, at der ikke findes brugbare og kommercielt tilgængelige tørreanlæg på markedet. Det ses f.eks. i tabel 7.1, at der er et stort potentiale for energibesparelser ved tørring af papirbaner i overhedet damp, men der er ikke udviklet nogle kommercielle anlæg, og der vil sikkert gå nogle år, inden et anlæg kommer på markedet.

Hos nogle leverandører af tørreanlæg udføres der pilotforsøg med henblik på at udvikle anlæg, der kan håndtere nye produkttyper. Som et eksempel kan nævnes Heat-Win Ltd., der har leveret et pilot anlæg til Skamol i Danmark til batchvis tørring af mursten i overhedet damp. Anlægget har en kapacitet på 1.000 mursten pr. batch.

I Sverige har man mindst 15 års erfaring med tørring af træflis i overhedet damp. Der kunne eventuelt igangsættes en teknologioverførsel fra Sverige til Danmark omkring dette område.

Der er brug for fortsat forskning og udvikling inden for området for at løse de tekniske problemer, der er forbundet med tørring i overhedet damp. Som tidligere nævnt, er tilførelsen af midler til udviklingen af anlæg til tørring i overhedet damp påvirket af, at energipriserne er lave, og derfor fjerner industriens fokus fra energibesparelser.

Det er tænkeligt, at skærpede miljøkrav til f.eks. emissionsgrænser kan medføre en forøget indsats indenfor udviklingen af nye tørreanlæg.



## 8. Tørreanlæg hos Dangrønt i Ringkøbing

Hos Dangrønt i Ringkøbing er der ombygget et såkaldt lavenergi-tørreanlæg til grøntafgrøder, så tørringen nu foregår med overhedet damp i et lukket system ved atmosfæretryk. Det nye og udbyggede system til damptørringen kaldes en EcoDryer, og er leveret af W. Kunz Drytec AG, det tidligere Swiss Combi.

Det oprindelige lavenergi-tørreanlæg hos Dangrønt i Ringkøbing var udover de to tørretromler udstyret med røggasrecirkulation, råvarekoger, saftpresse og et to-trins inddampningsanlæg.

Procestrinene i det oprindelige tørreanlæg var:

- Den våde råvare blev forvarmet til ca. 75°C i kuvo-kogeren. Opvarmningen foregik med spildvarmen i afgangsluften fra den ene tørretromle.
- Efterfølgende blev der foretaget saftafpresning i en skruepresse. Den afpressede saft indeholdt ca. 5% plantetørstof, mens den tilbageværende presserest havde et tørstofindhold på ca. 35%.
- Saften førtes til inddamperen, der tilførtes varme fra afkastluften fra den anden tørretromle. I inddamperen blev ca. 85% af vandet i saften afdampet, så det tilbageværende koncentrat havde et tørstofindhold på ca. 35%.
- Koncentratet blev blandet i presseresten og blandingen blev tørret i tørretromlen.

### 8.1 EcoDry tørreanlæg

EcoDry-anlægget hos Dangrønt i Ringkøbing består af det oprindelige lavenergi-tørreanlæg, hvor produktforløbet stadig er som beskrevet ovenfor. Tørreanlægget er blevet udbygget med et ekstra inddampningstrin samt et nyt varmeveksleranlæg for opvarmning af den ene tørretromle. Denne tørretromle var tidligere med traditionel direkte indfyring, som den anden tromle. Tørretromlen har nu et lukket dampkredsløb, hvor tørringen foregår i overhedet damp. Dampen i det lukkede kredsløb opvarmes i varmeveksleren, se figur 8.1. Varmeveksleren har et meget stort areal, så varmeoverføringen er effektiv. Endvidere er varmeveksleren udstyret med en sektion, hvor der foretages varmegenvinding til forbrændingsluften til brænderne på de to tørretromler. Varmen i afkastet fra tørretromlerne anvendes som hidtil til opvarmning af henholdsvis kuvo-kogeren og inddampningsanlægget.

Tørringen af grøntafgrøderne foregår med overhedet damp ved atmosfæretryk. Tørreprocessen i overhedet damp er mere skånsom overfor produktet i forhold til tørring med forbrændingsluft fra en olie- eller gasbrænder, hvor tørreluften har en temperatur på 800-1.000°C. Procesdiagrammet for EcoDry-anlægget er vist i figur 8.1.

### 8.2 Energibesparelsen

Energiforbruget til tørring med EcoDry-anlægget er betydeligt lavere end for et konventionelt tørreanlæg med direkte opvarmet tørreluft. Når udnyttelsen af spildvarmen god-

skrives tørreprocessen, fås et specifikt energiforbrug på ca. 1.550 kJ/kg fordampet vand, der kan sammenholdes med et forbrug på ca. 3.100 kJ/kg fordampet vand for et konventionelt anlæg. Det vil sige, at det specifikke energiforbrug reduceres 50% ved tørring med damp i et EcoDry-anlæg.

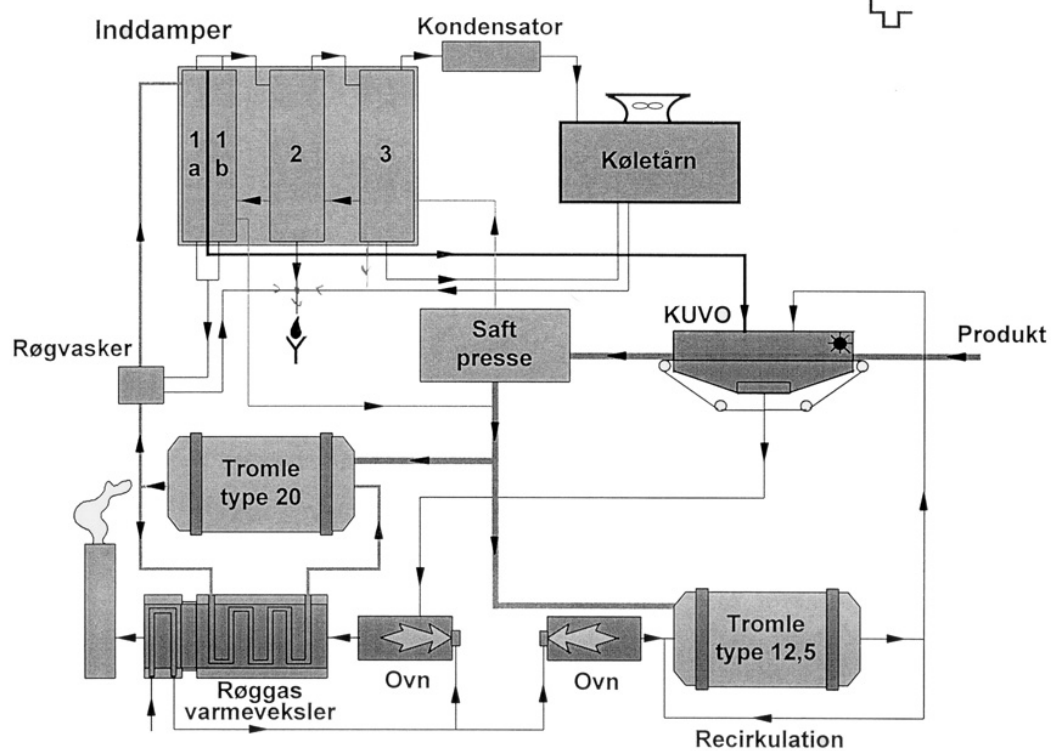
Desuden bevirker damptørringen, at lugtgenerne fra anlægget er blevet stort set elimineret.

### **8.3 Driftserfaringer**

EcoDry-anlægget blev igangsat i 1995, og man havde visse driftsproblemer med anlægget i starten. Der opstod bl.a. varmetæring og kondensering i anlægget samtidig med, at der kom belægninger i varmeveksleren. Endvidere opstod der på et tidspunkt brand i varmeveksleren, som blev totalskadet. Efter genopstart af anlægget har det kørt helt tilfredsstillende.

### **8.4 Økonomien i anlægget**

Merinvesteringen i damptørreanlægget i forhold til et traditionelt anlæg var 15-20 mio. kr. Der er opnået en væsentligt energibesparelse ved etablering af EcoDry-anlægget, som medfører, at merinvesteringen har en tilbagebetalingstid på 5-7 år. Det skal bemærkes, at denne tilbagebetalingstid er beregnet med udgangspunkt i, at man inddamper mest muligt saft. Alternativ kunne man vælge at undlade inddampningen af saften og i stedet for smide den ud. Det ville forringe anlægsøkonomien.



Figur 8.1 Flowdiagram for EcoDry-anlægget på Dangrønt i Ringkøbing.

## Referencer:

1. Draborg, S. et. al.: Energieffektivisering af industrielle tørreprocesser, Dansk Energi Analyse A/S, COWI A/S, 1998.
2. Kali und Saltz GmbH, Tyskland: The Steam heated fluidized bed dryer - a new energy saving drying process, N. Raschka and K- D Müller, 1998. IFA Technical Conference in Maroc.
3. Iwotech: The Moldrup Process. IWT Iwotech Ltd.
1. Niro: Drying of Beet pulp in pressurized superheated steam- further developments. Visti Anderson, Niro A/S. Paper presented at the ASSBT Conference Orlando, Florida, February, 1999.
2. Stork: Exergy steam drying technology. Stork Engineering. (Præsentations Bruchure).
3. Heat-Win: Airless Drying - Developments since IDS '94. Thomas J Stubbing. Paper at IDS '98.
4. Fitzpatric J, & J. Palmer; Potential for energy saving and effluent reduction by applying superheated steam drying in dairy processing; National Dairy Products Research Center, Ireland, 1995.
5. Jensen, Arne Sloth: Industrial experience in superheated steam fluid bed drying under pressure of beet pulp, sewage sludge and wood chips, etc.. Drying 94 – proceedings.
6. Anderson, Visti & Arne Sloth Jensen: Drying of beet pulp in superheated steam, 1991.
7. Wimmerstedt, Roland og Björn Linde, Analys av det tekniska och ekonomiska läget för torkning af biobränslen, 1998.
8. Mogensen, Svenning N.: Bioteknologisk Institut; Personlig kommunikation.
9. Mujumdar Arun. J., Handbook in Industrial Drying, second edition, 1995.
10. Stubbing, Thomas J.: Airless Drying; Drying 94 –proceedings.

### Leverandører af damptørreanlæg

Det er forsøgt at lave en så komplet leverandøroversigt som muligt. Virksomheder og institutioner, der arbejder med tørring i overhedet damp, er blevet kontaktet og blevet bedt om oplysninger vedrørende tørringsanlæg baseret på overhedet damp. Virksomhederne er fundet gennem personlige kontakter, litteratursøgning og ved søgning på Internettet. Selv om søgningen har været omfattende, kan der være enkelte teknologier/virksomheder producerer tørreanlæg baseret på overhedet damp, som ikke er fundet.

Mulige producenter har fået tilsendt et brev, hvori de er blevet bedt om at beskrive deres tørreknologi, produktgrupper, kapacitet, pris etc.. Listen over kontaktede virksomheder ses i bilag 2. I bilag 1 findes en leverandøroversigt med oplysninger om anlægstyper, egnede produkter, kapaciteter og referencer. I det følgende præsenteres de virksomheder der producerer anlæg til tørring i overhedet damp. Virksomhederne præsenteres i alfabetisk rækkefølge efter firmanavn og er ikke prioriteret. Til sidst beskrives kort de virksomheder, der har arbejdet med tørring i overhedet damp, men som ikke er leverandører i dag.

#### 1.1 Atlas Stord A/S

Atlas-Stord's HADDEX tørresystem er en indirekte fyret konvektionstørrer, hvilket vil sige, at forbrændingsgasser og produkt ikke kommer i kontakt med hinanden.

Systemet er bygget op om Atlas-Stord's RUDD (Rotating Universal Drum Drier), som er en traditionel tromletørrer. Princippet er vist med figur 4.2 og i det følgende refererer numrene til figuren. Denne udmærker sig ved, at den er i stand til at tørre stort set alle former for produkter, så længe de er rislende. Tørreren tilpasses det enkelte produkt, hvorved tørretider fra 2 minutter op til flere timer kan opnås.

#### Teknisk beskrivelse

Selve tørringen foregår ved at overhedet damp (1 bara) blandes med vådt produkt i tørrerens indgangsende **1**. Tørringen foregår i medstrøm. Derved udsættes produktet for høj temperatur, mens det endnu er fugtigt på overfladen. Derved forekommer der ikke afsvidning af produktet. Dampen køles og optager produktets fugtighed, således at det forlader tørreren færdigtørret **2**.

Da det er dampstrømmen, som transporterer produktet gennem tørreren, egner den sig specielt godt til produkter med varierende kornstørrelse. Fine partikler tørres hurtigt og får en kort opholdstid, hvorimod store, våde partikler, der vil være sværere at transportere og tørre, får en længere opholdstid.

Idet produktets fugtighed tilføres den cirkulerende mængde, opkoncentreres dampen og fortrænger hurtigt den luft, som forefindes i systemet ved processens opstart. Da tørringen foregår med damp, er der tale om skånsom tørring, hvor der ikke er tilstedeværelse af ilt.

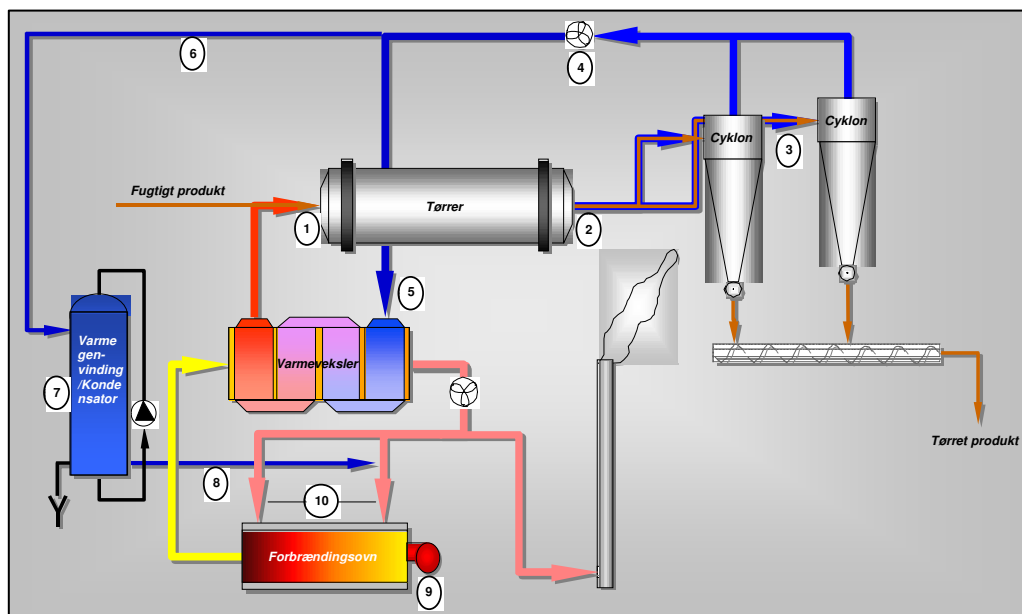
Produktet udskilles fra dampen i to parallelle cykloner  $\mathfrak{R}$ , og dampen føres herefter videre via en ventilator  $\wp$  til en gas/gas varmeveksler  $\oplus$ , hvor den overhedes påny. Både tørring og udskilning af produkt foregår under et svagt undertryk. Derved emitteres der ikke støv og lugt til omgivelserne.

Den fordampede mængde vand fra produktet ledes bort fra systemet  $\opl�$ , og pga det høje temperaturniveau kan varmen udnyttes i enten en spildvarmeinddamper  $\emptyset$  eller til produktion af eksempelvis varmt vand. Derved opnås en særdeles god energiudnyttelse. Dampen har en kondenseringstemperatur på min. 90°C.

En lille restgasmængde bestående af falskluft, restdamp og ikke kondenserbare gasser ledes fra kondensatoren til forbrændingsovnen  $\cup$ . Her deodoriseres alle lugtstoffer termisk ved en temperatur på 850°C, således at der ikke emitteres lugt til omgivelserne. Anlægget opfylder de tyske krav iht. TA-Luft.

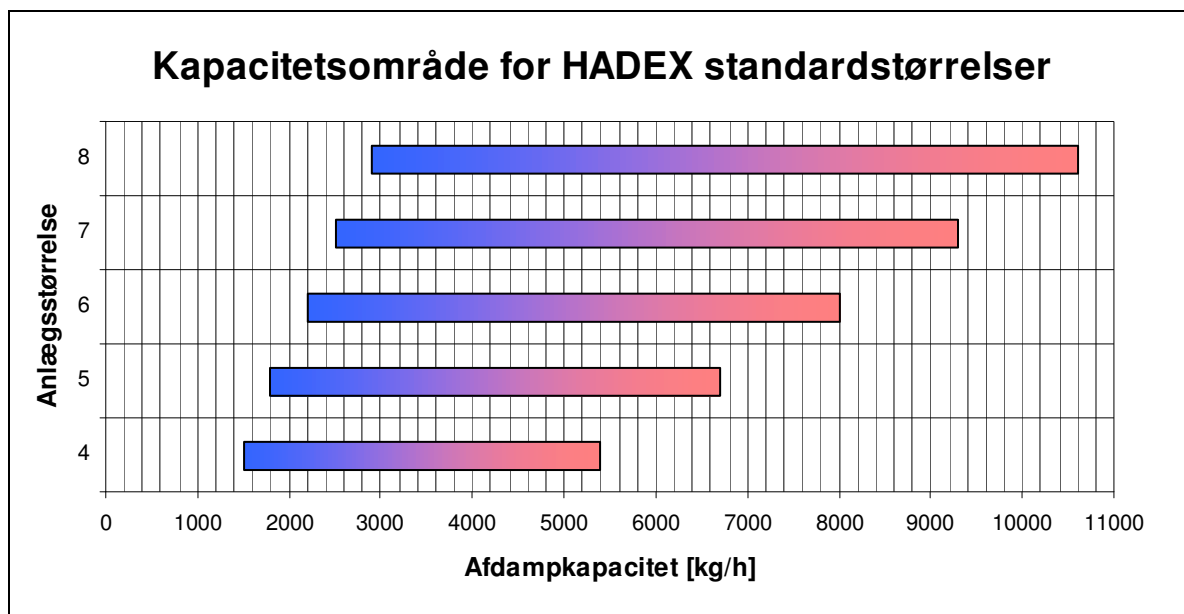
Varmen tilføres fra enten en olie-, gas- eller kombinationsbrænder  $\cup$ . Forbrændingsgasserne tempereres ved at recirkulere røggasser  $\supset$ , hvorved et acceptabelt temperaturniveau opnås. Samtidig bidrager recirkuleringen til en god driftsøkonomi.

Spec. varmeforbrug: 1800kJ/kg tørrer-afdamp (ved fuld varmegenvinding)  
 Spec. elforbrug: 37kW/t tørrer-afdamp



Figur 4.2 HADEX Procesdiagram

HADEX findes i 5 størrelser, hvilket fremgår af nedenstående tabel. Disse kaldes 4, 5, 6, 7 og 8.



Figur 4.3 Oversigt over kapaciteten af HADEX tørreanlæg.

Af produkter, der med fordel kan tørres i en HADEX-tørrer, kan nævnes:

- Landbrugsafgrøder (korn, majs, græs, lucerne, sukkerroeffald, halm)
- Animalske produkter (kødbenmel og fiskemel)
- Træflis
- Spildevandsslam
- Affaldsprodukter (hønsemøg, svinegylle)
- Plastgranulat, kunstgødning.

Andre produkter kan formentlig også tørres i tørreren, men det kræves tilpasning af anlægget til det givne produkt.

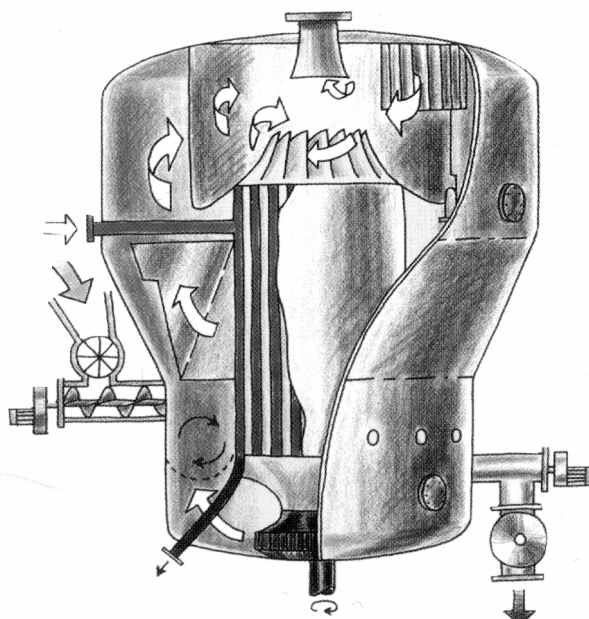
HADEX-tørreren kan operere med produkter, der har en fugtighed mellem 15-80% før tørringen.

Ved krav om lave produkttemperaturer (60°C), kan den overhede damp erstattes af luft, men varmegenvinding er i så fald ikke længere mulig.

## 1.2 EnerDry

Arne Sloth Jensen, der tidligere har været med at udvikle en tryksat tørreenhed til roepulp først sammen med sukkerfabrikkerne og derefter med NIRO, har startet sit eget firma "EnerDry" og lancerer en videreudvikling af tryktørreren.

Forskellen mellem NIRO's og EnerDry's tørresystem består hovedsageligt i en forandret bund, midterstykke og top, således at tørregodset ikke skal bevæges gennem 16 kamre, men fordeles efter størrelse og vægt i tørreren. I EnerDry's tørrer føres tørregodset ind fornedet, og det bevæges rundt i tørreren for så at blive udmadet tørt efter en tur rundt. De store partikler bevæges langsomt rundt i bunden. Mellemstore stykker strømmer op og ledes rundt af prelplader. Mindre stykker og støv fanges i en cyklon i toppen og strømmer ud med det øvrige tørrede gods, se figur 4.4.



Figur 4.4 EnerDry's tryktørrer.

Kapaciteten af tørreenheden afhænger af størrelsen og temperaturniveauerne i enheden og varierer fra 5 - 50 tons vand fordampet i timen. De problemer, der var med tætninger m.m. i de første tryktørrere, er ifølge Arne Sloth Jensen blevet løst. Prisen for et anlæg, der kan fordampe 50 tons i timen, er ca. 40 mio. kr..

EnerDry satser i første omgang på tørring af roepulp. Ifølge Arne Sloth Jensen kunne der spares 100 tons olie om dagen, hvis de europæiske sukkerfabrikker benyttede damp-tørring, men Arne Sloth Jensen peger på, at en række andre produkter også kan tørres i tørreenheden. Slam, der er anaerobt nedbrudt og afvandet til ca. 35% TS, er velegnet, idet der dannes stabile kugler under tørringen. Slam, der kun er aerobt nedbrudt, er svært at afvande (10-12% TS) og skal da tørres med backmixing, hvor det våde materiale iblandes tørret materiale før det indsluses i tørreenheden. Tørring af træspåner til spånpladeproduktion i overhedet damp vil give en række fordele, idet ligninstrukturen bevares, hvilket giver bedre spånplader. Hertil kommer, at miljøproblemet med forurenede røggasser fra tørreovnen, hvor spånerne tørres, overvindes.

NIRO's tryktørrer benyttes i dag til tørring af flis til energiformål, hvilket EnerDry's tørreenhed også vil være velegnet til. En række affaldsprodukter fra landbruget kan tørres i tryktørreren. Det drejer sig bla. om kartoffelpulp, majs, hvede, mask (fra bryggeri/distilleri) og citrusfrugter m.m.. Ved damp-tørring i levnedsmiddelindustrien skal tem-

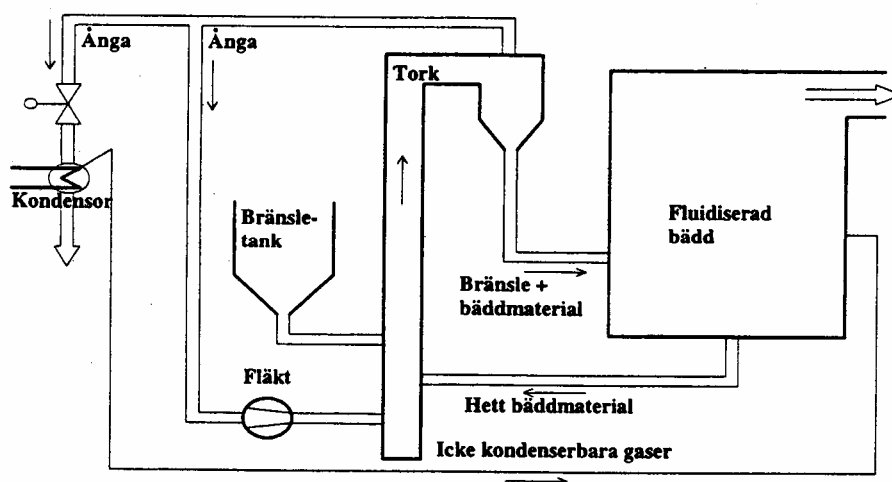


peraturen i tørreren ofte reduceres, for at Majar-reaktionen ikke ødelægger produktet (sukker og protein reagerer). Tørring af fiskeaffald og kødbenmel er interessant, blandt andet fordi lugtgener fjernes.

Den væsentligste barriere for udbredelsen af EnerDry's tørreenhed er i følge Arne Sloth Jensen, at investeringen til et anlæg ikke kan forrentes efter gængse krav i industrien (2-3 år). Tilbagebetalingstiden er 8-10 år, hvilket er for meget.

### 1.3 Fortum Engineering Ltd.

En ny type af tørreenheder for brændsel og slam med højt fugtindhold til f.eks. bio-brændsel, er udviklet af Fortum Engineering Ltd. Tørreenheden kaldes "Bed mixing dryer" og arbejder med en dampatmosfære ved atmosfæretryk med varmt bed-materiale som varmekilde.



Figur 4.5 Principiel udformning af IVO Bed Mixing Dryer.

Tørreenheden er en flash-tørrer, se figur 4.5. Brændslets opholdstid i tørreenheden er kun nogle få sekunder. Damp blæses med høj hastighed ind i den nederste del af røret i tørreenheden. En strøm af det varme bedmateriale fra fluid-bed'en blandes med dampen lige inden det fugtige brændsel føres ind i dampstrømmen. Dampen bærer brændslet og bedmaterialet ind i en cyklon, hvor det tørrede brændsel og det afkølede bedmateriale separeres fra dampen, og føres ind i fluid-bed'en. Dampen, som afdamper fra brændslet kondenseres i en varmeveksler. Varmen fra kondensatoren kan anvendes til fjernvarme, fødevandsforvarmning eller forvarmning af luft.

Teknikken er demonstreret på et anlæg i Kuusamo i Finland, som blev taget i brug i 1994. Tørre-enheden er her koblet til en boblende bed forbrændingsenhed i et kommunalt kraftvarmeværk. Tørrekapaciteten er ca. 5 tons/time og brændslet der tørres er en blanding af tørv, bark og flis. Afdampen udnyttes i fjernvarmenettet. De første driftserfaringer rapporteres at være positive. Der er dog konstateret en vis erosion af anlægsdele. Kondensatet fra afdampen udledes til det kommunale kloaksystem efter pH-justering. Ukondenserbare gasser tilføres forbrændingsenheden.

Det er oplyst, at Ørebro Energi har købt en Bed Mixing Dryer til tørring af brændsel til en CFB (Cirkulerende Fluid Bed). Brændslet tørres fra 50 til 25 % fugtindhold.

#### 1.4 IWT Iwotech Ltd.

I 1984 udviklede Niels Moldrup en stor vakuum-tørreenhed til tørring af træ, baseret på princippet om tørring i overhedet damp. Processen som er kendt som "Moldrup tørreen", blev udviklet på baggrund af IWT's erfaringer med produktion af autoklaver. Siden 1993 er Moldrup tørreenhederne leveret som turnkey leverancer [ref. 2]. Tørreenheden har sin force i forhold til konventionelle tørreprocesser når :

- Træet er vanskeligt at tørre
- Træet der skal tørres har store dimensioner
- Træet skal tørres uden interne revner og ned til lav fugtighed (6%)
- Farvesensitivt træ skal tørres
- Der ønskes ens fugtighed i hele træmængden

Efter at tørreren er lukket og tømt for luft med en vakuumpumpe, fyldes tørreren med damp til et tryk mellem 100-220 mbar, hvilket svarer til mættet damps temperatur på ca. 45-60 °C. Denne damp recirkuleres i tørreren og overhedes af en indbygget varmeplade. Temperaturen i tørreenheden holdes typisk på 67°C, dvs. at dampen er svagt overhedet. For at have god varmeovergang til træet er der stort flow i tørreenheden. Der er installeret blæsere med effekt på 2,5-4,0 kW pr. meter tørreenhed. Afdampen kondenseres udenfor tørreenheden og ledes til en måletank for præcis måling, så træets tørhed og den aktuelle afdampningsrate kan beregnes. Energiindholdet i afdampen genvindes ikke men bortkøles. Tørreprocessen styres ud fra målinger af relativ fugtighed, temperatur og tryk i tørreenheden.

Moldrup tørreren leveres i flere forskellige størrelser. Diametrene varierer fra 2.2 - 4.3 meter og længden fra 6-30 meter. Priserne varierer fra 0.5 - 3 millioner kroner leveret og monteret. Der er leveret knap 100 tørreenheder til 15 lande.



Figur 4.6 Moldrup tørreenhed.

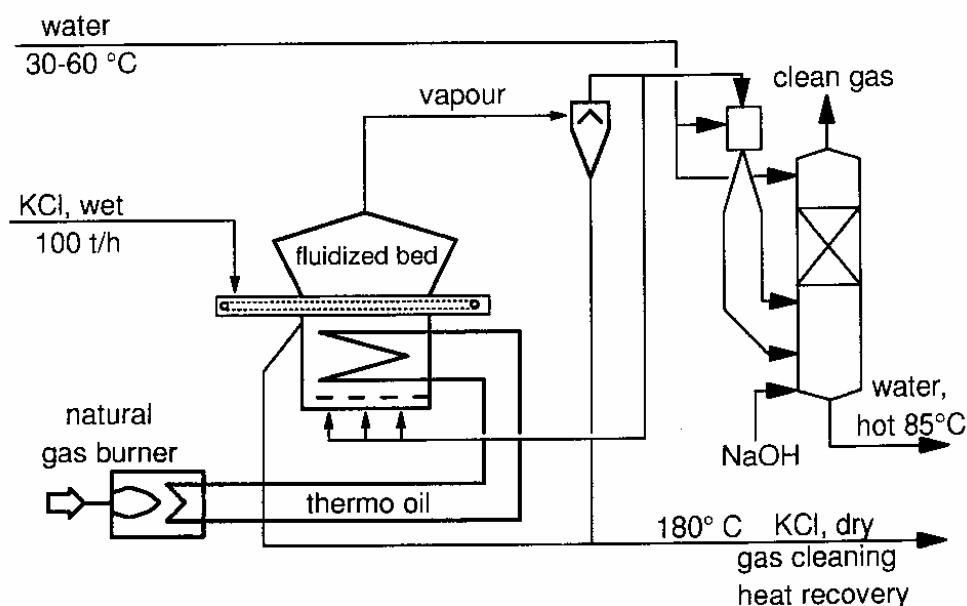
## 1.5 Kali und Salz GmbH

Kali und Salz GmbH er Europas største producent af potaske (kaliumkarbonat). Firmaet producerer årligt over 10 millioner tons potaske, magnesium og salte i dets otte miner i Tyskland. Kali und Salz GmbH har i en periode over syv år udviklet en ny energibesparende og lavemission fluid-bed tørreenhed, der benytter overhedet damp som tørremedie. Tørreenheden har kørt succesfuldt i fire år på Hattorf potaskefabrik. Sammenlignet med konventionel tromletørring sparer denne teknik 33% energi. Medregnes den energi, der udnyttes ved kondensering af afdampen, kan der spares yderligere 30% primær energi. Mængden af røggas er reduceret med 80%, og støv- og saltsyreindholdet er tydeligt lavere end i konventionelle tørresystemer og langt under de tyske grænseværdier [ref. 3].

Ved traditionel tromletørring af kaliumklorid er saltsyreindholdet i røggassen ca. 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Rensning i cyklon og med elektrofilter reducerer saltsyreindholdet i røggassen til ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup>, hvilket tidligere var tilstrækkeligt for at opfylde de tyske miljøkrav. Med indførelsen af strengere krav på max. 30 mg saltsyre pr. Nm<sup>3</sup> blev Kali und Salz nødt til at installere yderligere rensningstrin. Kali und Salz valgte i stedet at udvikle en tørreenhed, der på en gang reducerede emissionerne og reducerede energiomkostningerne.

I processen er røggasser ikke i kontakt med tørregodset, hvorved det undgås, at der dannes saltsyre. Tørreenheden består af følgende, se figur 4.7:

11. Et gasfyret hedtolieanlæg tilfører energien til fluidbed-tørreenheden.
12. En fluid-bed, hvor dampen, der afdamper fra saltene, benyttes som fluidiseringsmiddel i fluid-bed'en.
13. En to-trins gasscrubber i hvilken støv og saltsyre bliver fjernet, og hvor varmen genvindes ved kondensation af dampen.



Figur 4.7 Fluid bed tørreenhed til tørring af salte hos Kali und Salz.

Der kan konstateres følgende fordele ved anlægget:

- Energiforbruget er 42 kWh/tons, hvilket er en tredjedel i forhold til konventionel tromletørring (128 kWh/tons).
- Røggasmængden er reduceret med 80%.
- Saltsyreemissionen er reduceret til under 10 mg/Nm<sup>3</sup>. Det årlige saltsyremængde er reduceret fra 16,8 tons til 0,2 tons.
- Kaliumkloridproduktet indeholder mindre fint støv, så "anti-støv" behandling kan reduceres.

Anlægget har kostet over 13 mio. DM og har kørt succesfuldt siden 1994.

## 1.6 Niro A/S

Niro A/S udviklede i 1980'erne en tryksat tørreenhed til tørring af roepulp på sukkerfabrikker. I 1990'erne er der solgt 12 anlæg til tørring af roepulp, ét til tørring af flis, ét til tørring af bark og ét til tørring af slam [ref. 4]. Anlæggene er solgt i Frankrig, Spanien, Holland, Tyskland, Sverige og USA. Kapaciteten af anlæggene spænder fra 5-40 tons vandafdampning pr. time. Trykket i tørreenheden er typisk 3 bar, idet afdampen derved kan benyttes til procesformål, hvorved 90 % af den fordampede energimængde kan genvindes.

På et pilotanlæg i Frankrig er en række andre materialer blevet prøvetørret. Det er vist, at udover roepulp kan træbaserede biobrændsler, lucerne, slam fra rensningsanlæg, slam fra papirindustri, brunkul, lignite, restprodukter fra korn- og kartoffelstivelseindustri tørres i damptørreenheden. Nogle af produkterne skal gøres fluidisable ved back-mixing af de tørrede produkter (tørret materiale iblandes det våde materiale).

### Produktflow

Produktet sluses ind i tørreenheden i en specielt designet sluse, og bevæges succesivt gennem et antal produktceller placeret rundt om den centrale varmeveksler, før det bliver ledt ud som tørret materiale. De små partikler indfanges i en indbygget cyklon og ledes til den sidste celle for at blive ledt ud. Komponenterne ses i figur 4.8.

1. Cellesluse for tørregods
2. Produktceller
3. Celler for små partikler
4. Cyklon for støvudskilning
5. Ejektor for støvtransport
6. Cellesluse for tørret materiale.

### Flow af tørredamp (lavtryksdamp)

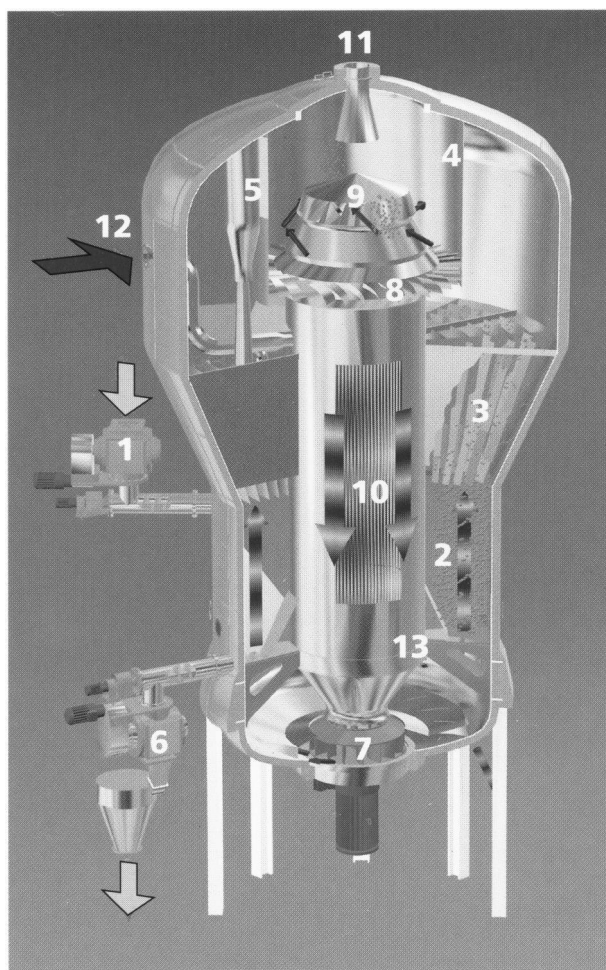
Den cirkulerende damp opvarmes og overhedes i rørene i den centralt placerede rørvarmeveksler. Dampen strømmer op gennem en perforeret plade, hvorved den fluidiserer og tørrer tørregodset, hvorefter den atter opvarmes i varmeveksleren. Overskydende damp dannet ved tørringen af godset udledes som tryksat damp i toppen af tørreenheden efter støvudskilning.

7. Blæser for cirkulation af lavtryksdamp.
8. Finner til dannelse af hvirvelstøm.
9. Hvirvelstrømsbremse
10. Varmeveksler for overhedning af damp.
11. Udtag for overskydende damp

Flow af varmekilde (højtryksdamp)

Højtryksdamp ledes ind på shell siden af varmeveksleren og efter kondensation udledes den og returneres til kedelanlægget.

12. Højtryksdamp ind i tørreenheden.
13. Kondensatudledning.



*Figur 4.8 Snittegning af Niro's damptrørrer.*

Niro har i de senere år lavet en række forbedringer på tørreenheden, heriblandt flere varmeelementer i de første celler, en mere stabil bed og forbedret design af ejektoren.

En ny generation af cellesluser er blevet udviklet, som giver længere levetid og lavere vedligeholdelsesudgifter. Der arbejdes med en ombygning af trørreren vil muliggøre

drift af tørreren i delast i større udstrækning end det er tilfældet i dag. Dette vil forbedre tryktørrerens fleksibilitet.

Kapaciteten kan udvides med op til 20% i den aktuelle tørrestørrelse, blandt andet ved at udvide antallet af fluidbed-plader.

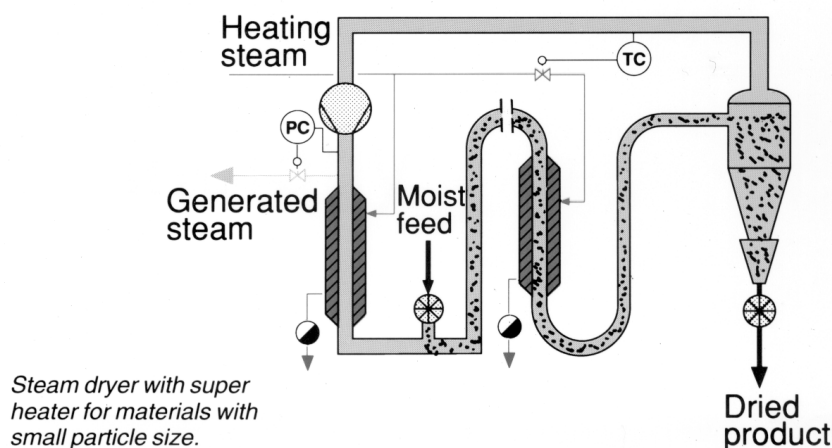
Endelig overvejes det hvordan instrumenteringen kan udvides og derved gøre løbende kontrol og optimering af tørreprocessen bedre.

## 1.7 Stork Engineering

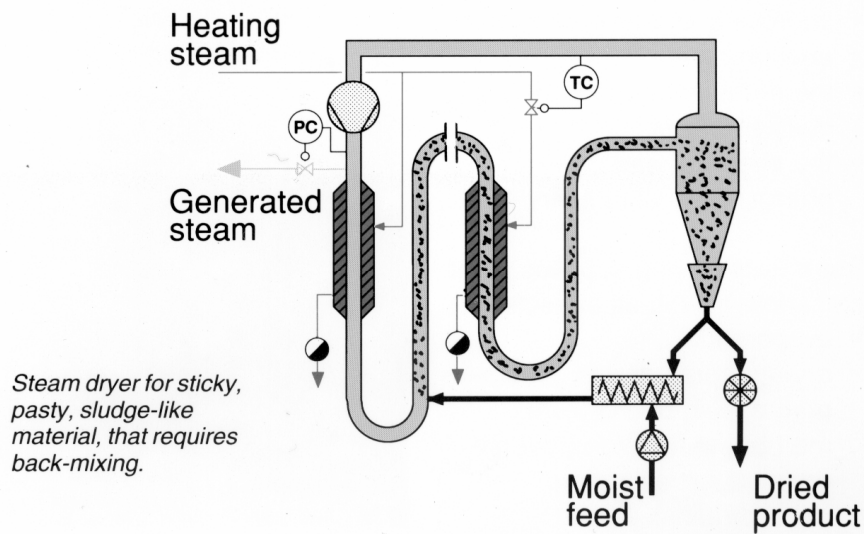
Stork Engineering producerer en tørreenhed, der kaldes "The Exergy dryer". Dette tørrekoncept blev i 1970'erne udviklet af Professor Hedstrøm på Chalmers Universitet i Göteborg, og tørreren blev kaldt en "Hedstrømtørrer". Konceptet er senere overtaget af Stork Engineering.

"The Exergy dryer" benytter pneumatisk transport af tørregodset. Det våde gods indføres i en strøm af tryksat overhedet transportdamp [ref. 5]. Transportdampen og det materiale der skal tørres strømmer inde i rørene i en række "shell and tube" varmevekslere, hvor transportdampen overhedes af et varmemedium på shell siden af varmeveksleren som f.eks. mellemtryksdamp, varmt vand eller olie. I de følgende tørrekanaler fordamper vandet fra tørregodset, hvorved der dannes mere transportdamp, samtidig med at dampen køles til nær mætningspunktet. Denne proces gentages i et passende antal tørretrin, så fugtindholdet reduceres til det ønskede niveau. Trykket i tørreren er typisk 2-6 bar, og opholdstiden er mellem 10-100 sekunder.

Transportdamp og det tørrede gods separeres i en højeffektiv cyklon, og godset tages ud gennem en tryktæt sluse. Fra cyklonen recirkuleres dampen til indgangen på den første varmeveksler, og den overskydende damp fra tørreprocessen bliver kontinuerligt ledt bort.



Figur 4.9 "Exergy dryer" for tørregods med lille partikelstørrelse.



Figur 4.10 "Exergy dryer" for tørregods der er klistrende, dejagtig, slam-lignende materiale der kræver back-mixing.

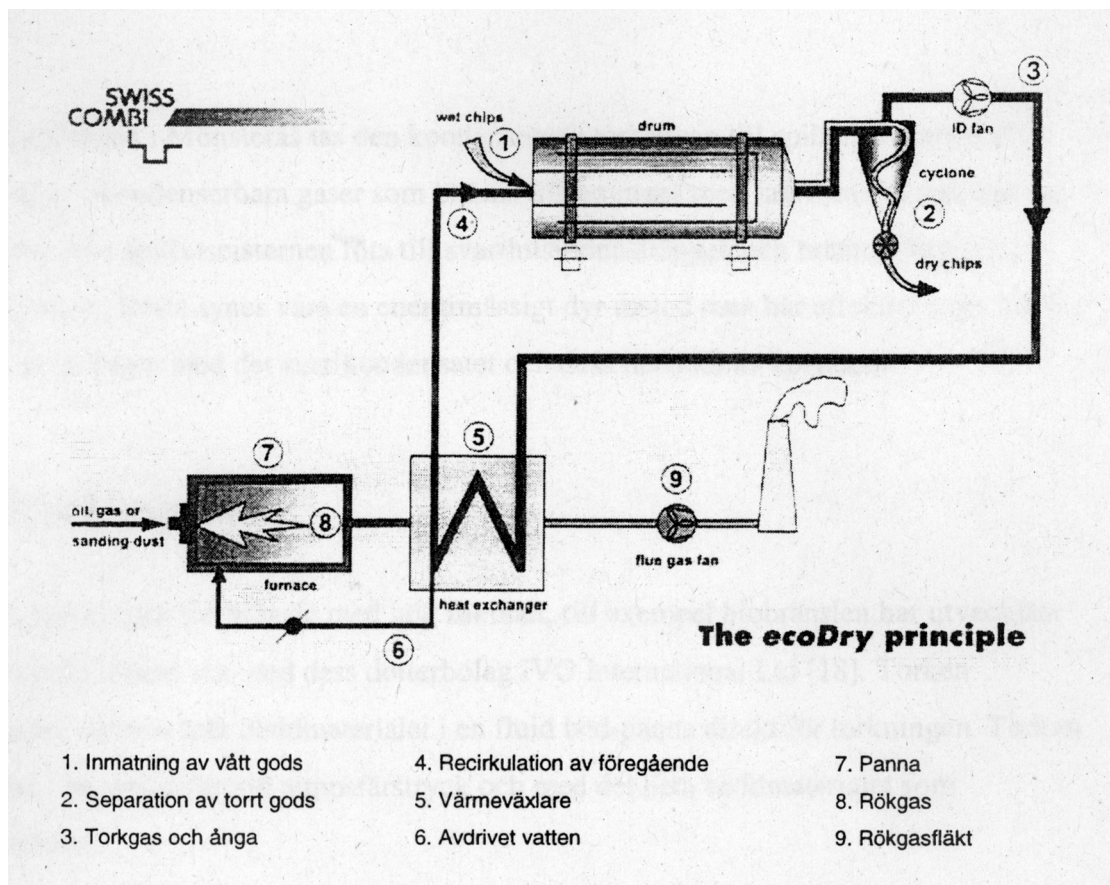
Forskellige typer tørregods er blevet tørret i en "Exergy dryer". Der er tørret følgende produkter:

- Papirmasse
- Cellulose afledning
- Mineraluld
- Træflis
- Tørv
- Savsmuld
- Bark
- Biomasse
- Spildevandsslam
- Gødning
- Græs
- Lucerne
- Strå
- Bagasse
- Korn
- Korn-biprodukter
- Mask fra bryggeri og brænderi
- Sukkerroepulp
- Rapsfrø/mel
- Sojamel
- Kartoffelaffald
- Fiskemel
- Mandelskal
- Tobak
- Appelsin/citronskal

- Appelsin/citronpulp
- Ananasaffald
- Grapefrugtskal

### 1.8 W. Kunz Drytec AG

W. Kunz Drytec (tidl. Swiss Combi) markedsfører et koncept, ecoDry, hvor det fugtige materiale tørres i en tromletørrer med meget tætte pakninger. Tørregassen består overvejende af overheadet damp og får dermed et meget højt dugpunkt. Tørregassen strømmer ind i tromletørreren i medstrøm med materialet som det ses på figur 4.11.



Figur 4.11 W. Kunz Drytec's tørreprincip.

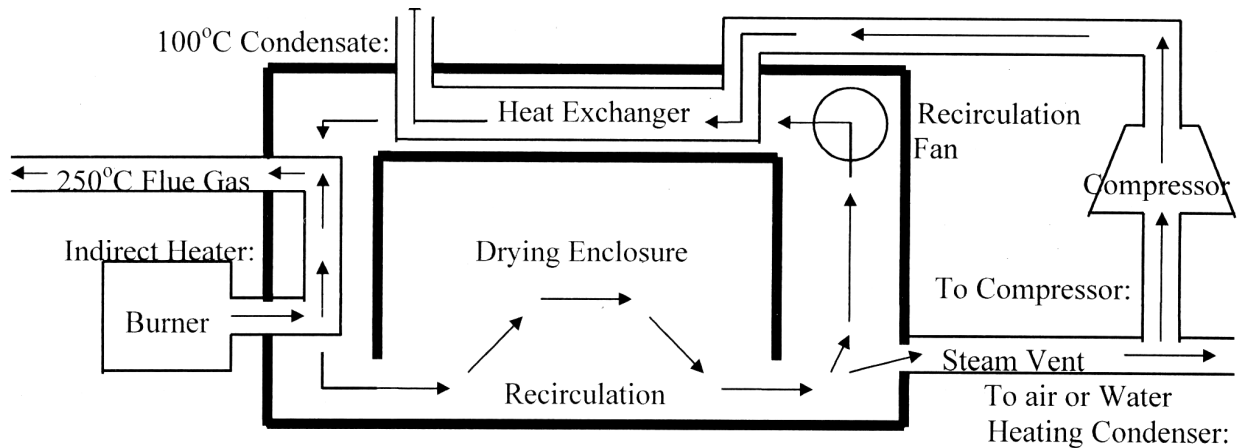
Gassen varmes op i en varmeveksler med røggasser fra en brænder på den ene side og damp på den anden. Den overskydende afdamp fra tørreenheden, som indeholder organiske stoffer, føres til brænderen hvor de organiske gasser forbrændes og røggassen inklusiv damp ledes til skorstenen. Overskuddet af tørregassen fra varmeveksleren ledes gennem det materiale der skal tørres. Materialet varmes dermed til cirka 75°C. Opvarmningen giver en vis varmegenvinding til materialet. Der er solgt et enkelt anlæg i Danmark til Dangrønt, hvor der tørres græs og lucerne. Anlægget er anvendt som case i nærværende rapport, se kapitel 9.



## 1.9 Heat-Win

Firmaet Heat-Win i England har i en årrække produceret damptørreenheder under benævnelsen "Airless Drying". Firmaet har hovedsageligt leveret batchtørreenheder til keramikindustrien, men de senere år er interessen for andre produkter steget, og en kontinuerlig proces er udviklet.

Heat-Win's tørreenheder er gammelkendt teknik. I 1920'erne blev der introduceret en damptørre-enhed med en brænder som varmekilde, og en blæser der foretager intern damprecirkulation. Denne teknologi lancerer Heat-Win under betegnelsen "Airless Drying". En nyskabelse er muligheden for kompression af afdampningen, som muliggør at varmen i afdampningen kan genvindes og anvendes som supplerende varmekilde til tørreenheden. Dette vil være en energiøkonomisk fordel, såfremt varmen i afdampningen ikke kan anvendes fornuftigt andetsteds. Elforbruget til dampkompressionen skal dog indregnes, hvorved energigevinsten reduceres.

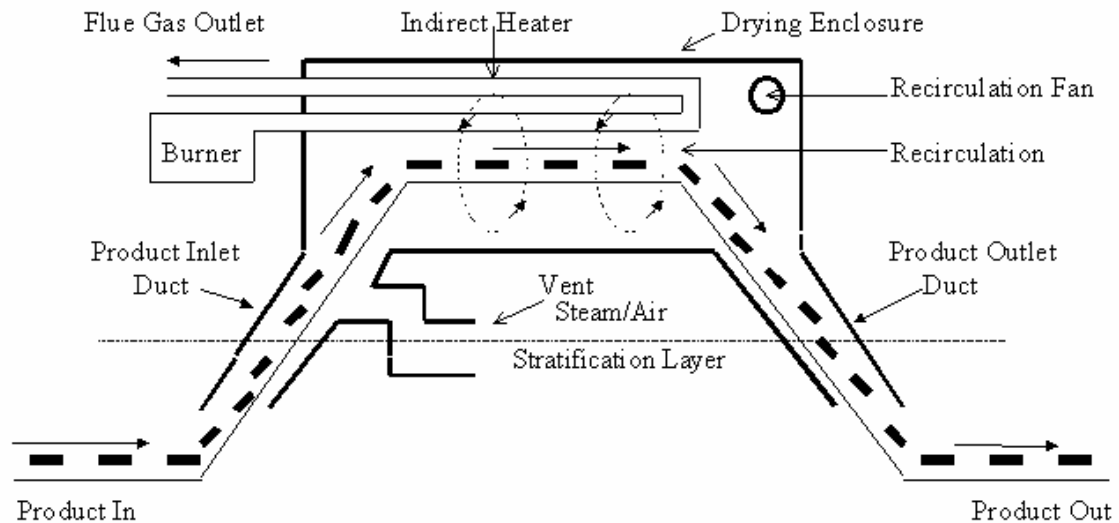


Figur 4.12 Skematisk tegning af "Airless Drying" batchproces.

Heat-Win's kontinuerede tørreenhed opererer ved atmosfæretryk. Herved kræves der ikke de meget effektive tætninger i sluserne til indfødning og udmadning af tørregodset, som ellers volder de tryksatte anlæg store problemer [ref. 6].

Heat-Win's løsning er helt at undgå mekaniske tætninger, idet det udnyttes at damp er lettere end luft, hvorved der sker en lagdannelse. Tørregodset transporteres op i tørreenheden, og ved passage af lagdelingen omslutter dampen fuldstændigt produktet. Lagdelingen er ifølge Heat-Win meget stabil, og princippet er afprøvet på fire forskellige prototyper. Dette illustreres også ved, at dampen forbliver inde i tørreenheden, selv om en recirkuleringsblæser skaber turbulens i tørreenheden.

Højden af lagdelingen afgøres af højden af aftrækket, hvor overskuddsdampen strømmer ud eller hvis dennes energiindhold udnyttes ved kondensation, bestemmer kondensatorens udløbshøjden.



Figur 4.13 Skematisk tegning af "Airless Drying" kontinuert proces.

Heat-Win har hovedsageligt leveret anlæg til keramikindustrien. Fordelen ved tørring af keramik i en dampatmosfære er stor, da der sker færre skader på produktet under tørringen, da tørringen sker hurtigere, og kvaliteten af de tørrede produkter bliver bedre. I de fire prototyper på kontinuerede tørreenheder er der succesfuldt tørret håndklædestof, appelsinskræller, slam fra papirindustri og kager af magnesiumhydroxid. Det er meningen, at mange andre produkter vil blive forsøgt tørret.

### 1.10 Øvrige virksomheder

En række virksomheder har beskæftiget sig med tørring i overhedet damp, men er ikke i dag på markedet med damptørringsanlæg.

APV har undersøgt tørring i overhedet damp og har tørret forskellige produkter i et pilotanlæg. Tørring i overhedet damp er interessant for APV, idet problemer med brand, lugt og øvrige miljøgener elimineres. Energoptimering er sekundær. Ifølge APV er tørreprocesserne energioptimeret ved øget recirkulation, og der er opnået energibesparelser på 10-20%.

BMA AG i Tyskland har udført forskning og udvikling, men har ikke lavet et industrielt kommercielt design. BMA følger udviklingen af teknologier til tørring i overhedet damp med stor interesse.

## Bilag 2

### Leverandørfortegnelse

<b>Firma: adresse, kontaktperson</b>	<b>Tel, fax, mail, hjemmeside</b>	<b>Beskrivelse af system</b>	<b>Produkter der tørres</b>	<b>Størrelser</b>	<b>Referencer</b>
EnerDry Arne Sloth Jensen Mølleåparken 50 2800 Lyngby Danmark	Tel: 45 87 19 73 Fax: 45 87 19 67	Tryksat fluid bedtørrer.	Roepulp, træflis, slam mm	5-50 tons vand- damp i timen	Ingen anlæg endnu. ASJ har tidligere været med til at bygge NIRO's anlæg
HB Drying Systems Van den Broekweg 16 7602 PH Almelo The Netherlands	Tel: +31 546 865066 Email: hbin- fo@wxs.nl Http://www.hb- almelo.nl		Tørring af træ	30 m3	
Kali und Salz GmbH Friedrich-Ebert- Str.160 34119 Kassel Germany Att. Dr Müller	Tel: 0561-301-0 Fax: 0561-301-1753	Fluid bed tørring af salte, med skrubber til rens- ning af afdamp.	Salte fra firmaets miner	100 tons tørre- gods pr. time	Et fuldskala anlæg bygget i Hattorf potaske- fabrik Tyskland
Heat-win Spout house Bitterley Ludlow Shropshire SY8 3HQ, GB Att: Thomas J Stubbing	Tel: +44 (0) 1584 890 827 Fax: +44 (0) 1584 890 808 Email: heat- win@cwcom.net Http://www.dryers- airless.mcmail.com	Batch- og konti- nuerte tørreenhder til tørring ved atmosfæretryk.	Hovedsagelig tørring af kera- mik, men hånd- klædestof, appel- sinskræller, slam fra papirindustri, og kager af mag- nesium hydroxid er tørret. Andre produkter vil blive forsøgt tørret.	Største batch tørringsanlæg er til 400 toiletter. Kontinuerte anlæg forven- tes at blive op til 20 tons vanddamp pr time.	Batch anlæg solgt i DK, UK, USA, Costa Rica og Mexi- co. 4 prototyper af kontinuerlige tørreter men ingen kommer- sielle endnu. Salg forventes i 1999.
Atlas Industries A/S Baltorpevej 160 DK-2750 Ballerup Peder Fosbøl	Tel +45 44 89 02 00 Fax +45 44 89 04 00 Mail: Atlas-stord@atlas- stord.dk	Indirekte fyret konvektionstørreter, bygget op om Atlas-Stord's RUDD (Rotating Universal Drum Drier), som er en traditionel tromle- tørreter	Landbrugsafgrø- der (korn, majs, græs, lucerne, sukkerroeaffald, halm) Animalske pro- dukter (kød-ben mel og fiskemel) Træflis Spildevandsslam Affaldsprodukter (høse møg, svinegylle) Plastgranulat, kunstgødning.	5 størrelser: nr. afdamp (kg/h) 4: 1500-5500 5: 1800-6700 6: 2200-8000 7: 2500- 9300 8: 2900- 10500	Konceptet er under udvikling
IWT Iwotech Ltd. Vejlevej 125 DK-7330 Brande Denmark Mr Bror Moldrup	Tel: 97 18 10 88 Fax: 97 18 10 99	Tørring under vakuüm i batch.	Tømmer.	Diametre mellem 2,2 og 4,3 m og længder på 6 til 30 meter.	Ca. 100 anlæg solgt i 15 lande

<b>Firma: adresse, kontaktperson</b>	<b>Tel, fax, mail, hjemmeside</b>	<b>Beskrivelse af system</b>	<b>Produkter der tørres</b>	<b>Størrelser</b>	<b>Referencer</b>
W. Kunz Drytec AG CH-5606 Dinticon, Switzerland, Werner Kunz (Tidligere Swiss Combi )	Tel: +56 624 01 81	Det fugtige materiale tørres i en tromletørrer med meget tætte pakninger.	Grøntafgrøder, slam, spildevand	3-25 tons vandafdampning pr. time	1 anlæg til grøntafgrøder hos Dangrønt i Ringkøbing, Danmark
Fortum Engineering Ltd. PL 10 00048 Fortum, Finland Seppo Hulkkonen	+ 358 9 8561 4612 <a href="mailto:seppo.kulkkonen@fortum.com">seppo.kulkkonen@fortum.com</a>	Tørreenheden kaldes "Bed mixing dryer" og arbejder i dampatmosfære ved atmosfæretryk med varmt bedmateriale som varmekilde.	Træflis, slam og tørv		1 anlæg i drift i Kuusamo, Finland 1 anlæg under opførelse i Sverige
Niro A/S Gladsaxevej 305 DK-2860 Soeborg Denmark Visti Anderson	Tel: 45 39 69 10 11 Fax: 45 39 69 14 14	Fluid bed tørreenhed	Roepulp, træflis, Slam mm	5-50 tons vanddamp i timen	15 anlæg i Frankrig, Spanien, Holland, Tyskland, Sverige og USA.
Stork Friesland Scandinaria AB Stampgatan 38 S-11 01 Göteborg Sweden	Tel: (46) 31 80 54 65 Fax: (46) 31 80 25 07	Pneumatisk transport af tørregods.	Papirmasse, Cellulose afledning, Mineraluld, Træflis, Tørv, Savsmuld, Bark, Biomasse, Spildevandsslam Gødning mm. Se kap 4	Fra 8-1500 tons vanddamp pr. dag	<i>En række anlæg i flere lande.</i>

## Bilag 3

### Virksomheder i interviewundersøgelse

Firma	Kontaktperson	Adresse	Land
EnerDry	Arne Sloth Jensen	Mølleåparken 50 2800 Lyngby	Danmark
HB Drying Systems		Van den Broekeweg 16 7602 PH Almelo	The Netherlands
BMA AG		Am Alten Bahnhof 5 38122 Braunschweig	Germany
Kali und Salz GmbH		Friedrich-Ebert-Str.160 34119 Kassel	Germany
Heat-win Limited	Thomas J. Stubbing	Spout house, Bitterley Ludlow, Shropshire SY8 3HQ,	United Kingdom
APV Limited,		P.O. Box 4, Gatwick Road, Craw- ley West Sussex RH10 2QB	England
Atlas Industries A/S	Peder Fosbøl	Baltorpevej 160 2750 Ballerup	Danmark
Convertech Ltd.	Ian Bywater	PO Box 13-776 Christchurch	New Zealand;
Rheinbraun Aktiengesellschaft	Dr Ewers, Mr Klutz and Mr Moser	50416 Köln	Germany
PECO Energy Company		2301 Market Street P.O. Box 8699	Philadelphia, PA 19101 USA
Lumber Dry Kiln Company	Brunner Hildebrand	747 Woodhill Drive Fergus Ontario N2M 3N2	Canada
GBE LEGG Ltd. GBE House,	Mr Andy Warren	Andover Hants SP10 4DW	England
IWT Iwotech Ltd.	Mr Bror Modrup	Vejlevej 125 7330 Brande	Danmark
Lurgi Canada Ltd.	Mr Richard Day	100 Adelaide St. West Toronto Ontario, M5H 1S3	Canada
MoDo-Chemetics AB	Mr Peter Björklund	Box 802 S-891 18 ÖRNSKÖLDSVIK	Sweden
Niro A/S	Mr Visti Andersen	Gladsaxevej 305 2860 Søborg	Danmark
Promill		Boîte Postale 329 28104 Dreux CEDEX	France
Stork Friesland Scandinaria AB		Stampgatan 38 S-11 01 Göteborg	Sweden
Tecogen Inc	Francis Dibella	45 First Avenue Waltham Massachusetts, 02254- 9046	USA
Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH	Mr Scheickl	Postfach 4, A-4031 Linz	Austria

### Oversigt over videnscentre

<b>Videnscenter, adresse, kontaktperson</b>	<b>Tel, fax, mail, hjemmeside</b>	<b>Beskrivelse af speciale</b>
Prof. Arun S Mujumdar dept Chem Engg, McGill University 3610 University St Mon- real QC Canada H3A 2B2	Tel 514 398 4273 Fax 514 398 6678 e-mail: arun@chemeng.Lan.McGill.ca	All round specialist indenfor tørring
Roland Wimmerstedt Chemical Engineering 1 Lund University P.O. Box 124 S-221 00 Lund Sweden	Tel: + 46 46 222 82 98 Fax: + 46 46 222 45 26 e-mail: Roland.Wimmerstedt@kat.lth.se <a href="http://chemeng1.kat.lth.se/">http://chemeng1.kat.lth.se/</a>	All round specialist indenfor tørring
TNO Systems & Processes Division P.O. Box 155 2600 AD Delft, The Netherlands	velthuis@tpd.tno.nl Riepen@ tpd.tno.nl <a href="http://www.tpd.tno.nl">http://www.tpd.tno.nl</a> Phone: + 31 (0)15 - 269 2124 Fax: + 31 (0)15 - 269 2111  (Drying of ceramics: <a href="http://www.tpd.tno.nl/tpd/smartsite355.html">http://www.tpd.tno.nl/tpd/smartsite355.html</a> )	Tørring af træ og kera- mik
Att: Han Velthuis/ Michel Riepen		
Ian Bywater  Convertech Ltd, PO Box 13-776, Christ- church, New Zealand;	Tel: +64 3379 3301 Fax: +64 3379 3303  E-mail: bywate- ri@convertech.co.nz <a href="http://www.convertech.co.nz">http://www.convertech.co.nz</a>	Damptørring og hydro- lyse ved damp under tryk.
Jan A.M. Denissen TNO Institute of Applied Physics Department of Ceramic Technology P.O. Box 595 5600 AN Eindhoven The Netherlands	Tel: +31 40 2650203 Fax: +31 40 2449350 e-mail: denissen@tpd.tno.nl <a href="http://www.tpd.tno.nl/tpd/smartsite60.html">http://www.tpd.tno.nl/tpd/smartsite60.html</a>	Damptørring i keramik- industri