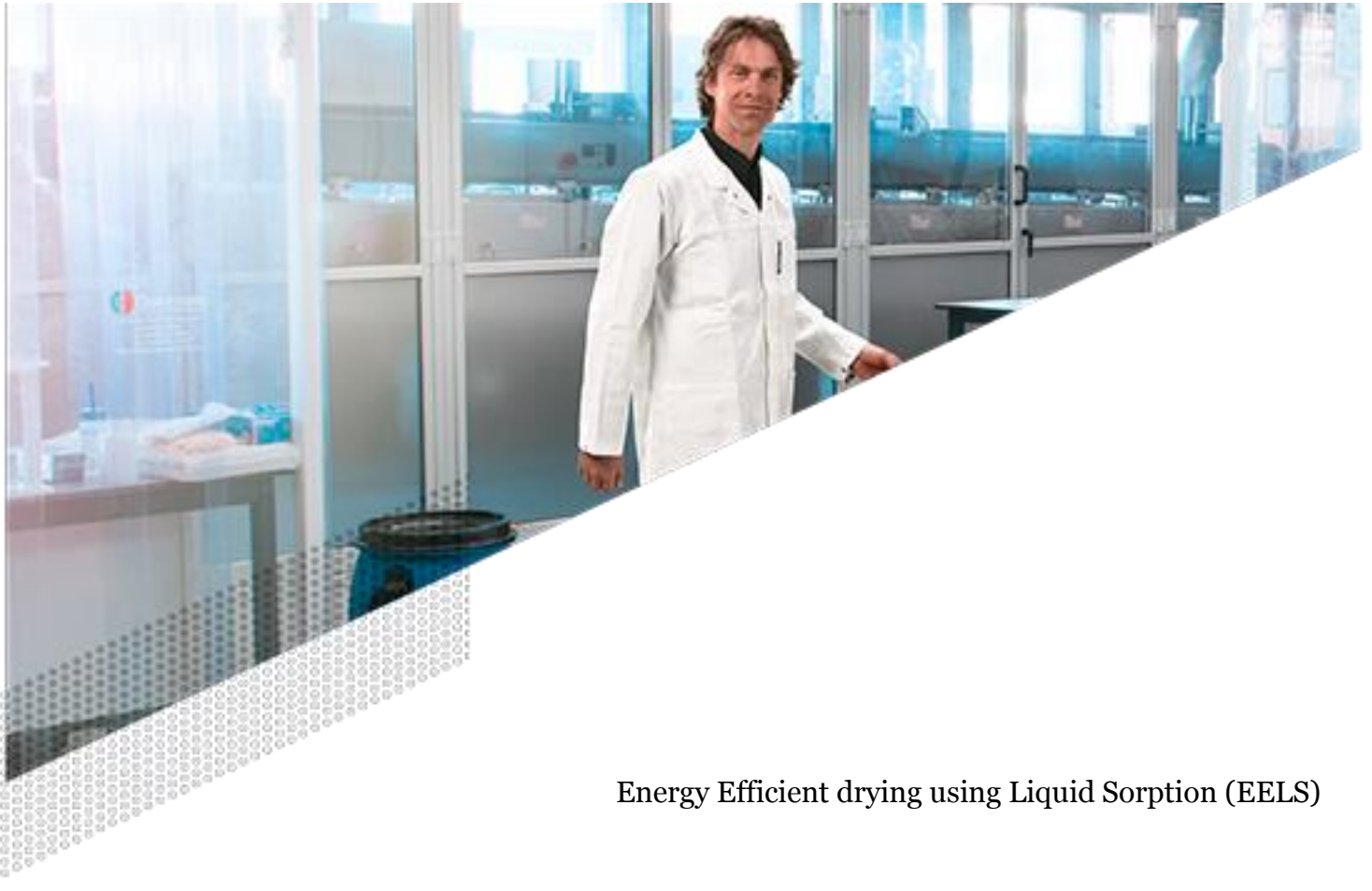


Energy Efficient drying using Liquid Sorption (EELS)





Energy Efficient drying using Liquid Sorption (EELS)

Auteur(s)
M. van der Pal

Disclaimer

Hoewel de informatie in dit document afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in dit document en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders. Geen externe assurantie.

Verantwoording

Het EELS project was gefinancierd door RVO onder contract nummer TEEI314007. Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Het project is binnen ECN bekend onder nummer 5.3693.

Abstract

Drying and dewatering form about 15% of the industrial energy use in The Netherlands. Recovery of latent heat through condensation proves to be difficult for many spray drying applications such as drying of milk powder. Liquid sorption has been investigated as a possible technology to recover the latent heat through literature review, model calculations, techno-economic evaluations and measurements on an absorber unit. The model calculations show that nearly all energy from a spray dryer can be recovered as sensible heat above 100°C or medium pressure steam using a strong acid as desiccant. The estimated payback times between 5 and 10 years require some improvement but seem feasible. The main challenges, however, are finding materials that withstand the desiccant at the high regeneration temperatures and methods for avoiding carry-over of liquid to the drying air.

Inhoudsopgave

Samenvatting	6
1. Uitgangspunten en doelstellingen van het project	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doelstelling	7
1.3 Consortium	8
2. Resultaten	9
2.1 Het EELS concept	9
2.2 Configuraties en energie prestaties	9
2.3 Kostenschattingen	10
2.4 Absorber unit metingen in het lab	10
3. Knelpunten en toepassingsperspectief	11
4. Bijdrage aan doelstelling van de regeling	12
5. Publicaties	13

Samenvatting

Droogprocessen zijn energie-intensief en vertegenwoordigen naar schatting 15% van het industrieel energiegebruik in Nederland. Voor het terugwinnen van de latente warmte uit de drooglucht van convectieve (sproei) drogers, een veel gebruikte methode voor het drogen van materialen, zijn de gebruikelijke methoden waarbij water wordt gecondenseerd niet toepasbaar omdat onder deze condities vervuiling van de warmtewisselaar optreedt. Warmte terugwinning met behulp van een vloeistof sorptieproces is een mogelijke oplossing. Dit proces is in deze studie nader onderzocht. Er is in overleg met industriële partijen bepaald wat de typische droogcondities zijn gevolgd door een inventarisatie en selectie van droogmiddelen die kunnen worden toegepast onder deze condities. Het droogmiddel is vervolgens toegepast in een configuratiestudie waarin de prestaties en eigenschappen van diverse droogcycli zijn berekend. Op basis van de energetische prestaties en een kostenschatting van het droogsysteem, inclusief alle bijbehorende kosten om te komen tot installatie en integratie, zijn de terugverdientijden bepaald. Tenslotte zijn tests in het lab uitgevoerd om de prestaties van de absorber unit te bepalen. Een sterk zuur bleek als een van de weinige droogmiddelen geschikt voor toepassing in de droogcyclus van een sproeidroger. Drie configuraties bleken het meest interessant: een configuratie met warmte-geïntegreerde absorber unit is weliswaar complex maar behaalt de hoogste energie efficiëntie met bijna 100% bruikbare warmte in vorm van middendrukstoom en voelbare warmte boven 100°C. De configuratie met een adiabatise absorber unit is eenvoudiger en behaalt daardoor aanzienlijk kortere terugverdientijd, naar schatting 5 jaar versus 10 jaar voor de warmte-geïntegreerde absorber unit. Hiermee kan nog steeds 80% van de warmte worden teruggewonnen in de vorm middendrukstoom. Tenslotte is er de configuratie waarbij drooglucht uit de absorber niet wordt hergebruikt in de sproeidroger maar de latente warmte wel teruggewonnen. Hiermee wordt entrainment/carry-over van het droogmiddel minder kritisch doordat deze niet in aanraking kan komen het product. Dit gaat echter wel ten koste van terugverdientijd (10 jaar) en warmteterugwinning (60%). Grootste uitdaging bij verdere ontwikkeling is het vinden van een (betaalbaar) materiaal waarbij het droogmiddel kan worden geregenereerd. Als alternatief kan worden gekeken naar vaste stof sorptie.

1. Uitgangspunten en doelstellingen van het project

1.1 Achtergrond

Zo'n 15% van het energiegebruik van de industrie is voor het drogen en ontwateren van producten. Ontwateren kent al een hoge energie-efficiency door gebruik te maken van mechanische ontwatering, mechanische en thermische damprecompressie. Drogen gebeurt aanzienlijk minder energie efficiënt. Dit heeft veelal te maken dat het droogproces verantwoordelijk is voor de uiteindelijk productkwaliteit. Sproeidrogen is een typische vorm van convectief drogen waarbij de condities in sterke mate de productkwaliteit bepalen. Het is derhalve niet eenvoudig om de droogcondities zelf aan te passen en dient te worden gezocht naar hergebruik van de warmte uit de afvalstromen. In sommige processen, bijvoorbeeld de papierproductie, is het mogelijk gebleken om latente warmte uit de drooglucht terug te winnen door condensatie van het aanwezige vocht. Dit is echter niet mogelijk voor diverse andere toepassingen. In geval van sproeidrogen blijkt dat er fines – kleine deeltjes – achterblijven in de lucht die onder condenserende condities plakkerig worden en zorgen voor vervuiling van het systeem. Het terugwinnen van de latente warmte voor dergelijke processen dient op alternatieve wijze plaats te vinden. TNO heeft hiervoor een zeolietwiel ontwikkeld. Omdat regeneratie plaatsvindt met oververhitte stoom en bij atmosferische druk, komt de latente warmte vrij op 100°C door condensatie van de stoom en zijn er verliezen in voelbare warmte. Een alternatieve methode is om gebruik te maken van een vloeibaar droogmiddel. Een dergelijk droogmiddel kan eenvoudig worden verpompt, op verhoogde druk worden geregenereerd en zodoende middendrukstoom te genereren en voelbare warmte kan eenvoudig(er) worden teruggewonnen.

1.2 Doelstelling

Doelstelling van het EELS project is het bepalen van de haalbaarheid van een warmteterugwinningsconcept op basis van vloeistof sorptie. Een dergelijk concept zou in staat zijn de latente warmte uit de uitgaande droog lucht terug te winnen in de vorm van middendrukstoom. Vragen die binnen dit project centraal stonden waren:

- welke condities voor de drooglucht dienen te worden verkregen?
- Welke droogmiddelen kunnen voor deze condities worden toegepast?
- Hoe presteren de diverse uitvoeringsvormen ('configuraties') van de vloeistof sorptie cyclus op het gebied van warmte terugwinning?
- Welk economisch perspectief heeft deze technologie?
- Hoe presteert de centrale absorber unit onder lab condities?

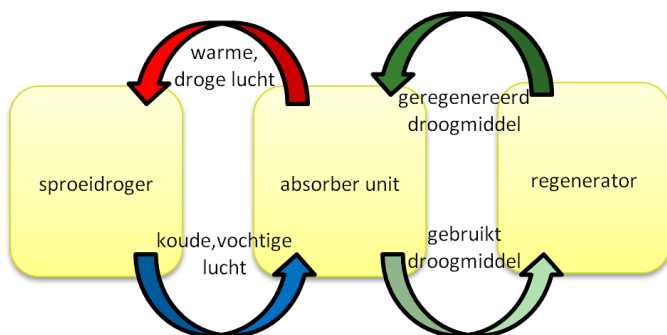
1.3 Consortium

Het project is gecoördineerd door ECN met Bronswerk Heat Transfer, Royal Friesland Campina, Unilever en DOW Chemical Benelux als project partners. De rol van Bronswerk Heat Transfer is het evalueren van de systeem configuraties met betrekking tot maakbaarheid en kosten. Royal Friesland Campina en Unilever hebben een bijdrage geleverd met betrekking tot typisch droog condities en randvoorwaarden integratie van het systeem met bestaande drooginstallaties. DOW Chemical Benelux heeft zijn kennis en ervaringen met droogmiddelen ingebracht. ECN heeft de informatie van partners gebruikt bij het ontwikkelen van rekenmodellen, zowel voor energetische prestaties als economische, en bij het uitvoeren van metingen in het lab.

2. Resultaten

2.1 Het EELS concept

Het sproeidrogen van melk vindt plaats bij een typische ingaande lucht temperatuur van 180-200°C. De lucht koelt af door het verdampen van vocht uit de melkdruppeltjes en verlaat de sproeidroger met een temperatuur van ongeveer 80°C en 50 gram vocht per kg lucht. Het EELS concept voorziet in het absorberen van dit vocht in een absorber unit. Doordat er warmte vrijkomt bij absorptie van waterdamp door het droogmiddel, wordt de lucht opgewarmd waarbij 180°C is gebruikt als uitgangspunt voor de selectie van het droogmiddel. Twee sterke zuren bleken in staat om de gewenste hoge temperatuur te realiseren bij gegeven vochtgehalte.



Figuur 1 Schematische weergave van het EELS concept met links de sproeidroger, in het midden de absorber unit die de lucht uit de sproeidroger verwarmd en droogt en rechts de regenerator waar het droogmiddel wordt geregenereerd.

2.2 Configuraties en energie prestaties

Omdat bij absorptie meer warmte vrijkomt dan bij het drogen is onttrokken aan de lucht dient er in de systeem configuratie hiervoor te worden gecorrigeerd. Dit kan gedaan worden door warmte te onttrekken aan de absorber unit. Hoewel dit leidt tot een meer complexe en daardoor duurdere absorber unit, blijkt dat vrijwel alle droog energie te kunnen worden teruggewonnen in de vorm van middendruk stoom en voelbare warmte boven 100°C.

Een tweede configuratie met gebruik van het bijmengen van koude lucht om de warmte toe en afvoer te balanceren. Hierdoor kan worden volstaan met een relatief eenvoudige en dus goedkopere absorber unit maar kan niet alle warmte worden teruggewonnen. Ongeveer 80% van de warmte komt beschikbaar als middendruk stoom en voelbare warmte.

In de derde configuratie wordt de verwarmde lucht uit de absorber niet direct hergebruikt in de sproeidroger maar wordt de warmte met behulp van een lucht-lucht warmtewisselaar uitgewisseld met verse buitenlucht. Hiermee wordt uitgesloten dat het te drogen product in contact kan komen met het droogmiddel. De hoeveelheid teruggewonnen warmte bedraagt in deze configuratie ongeveer 60%.

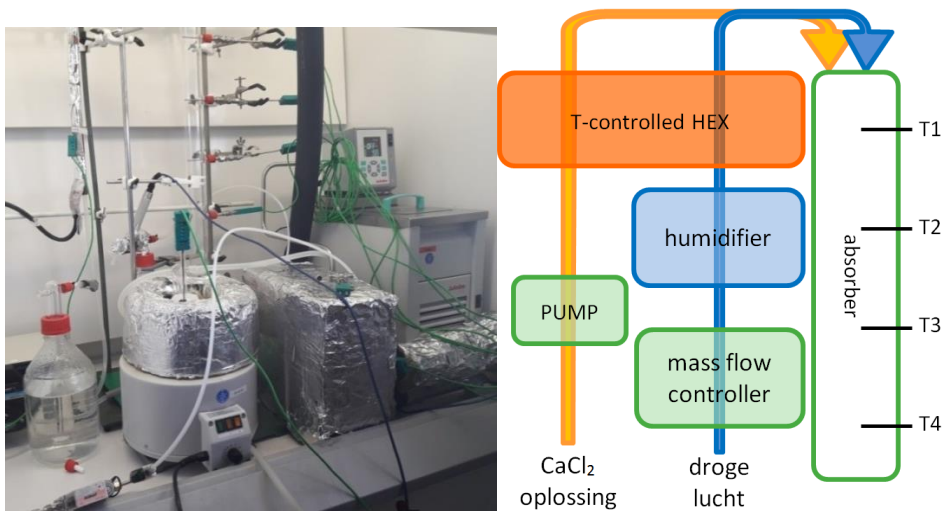
2.3 Kostenschattingen

Voor de drie configuraties zijn kostenschattingen gemaakt. Deze kostenschattingen omvatten alle kosten die noodzakelijk zijn voor het implementeren van het systeem. Dit betekent dat er ook rekening is gehouden met zaken als additionele leidingen, vergunningen, aanpassingen bestaande installaties, etc. Er is bij de berekeningen uitgegaan van Hastelloy-C als constructiemateriaal, een relatief dure staalsoort die geschikt is voor corrosieve condities. Uit de kostenschattingen bleek dat de tweede configuratie het goedkoopste is en met de energieprijzen van 2017, een terugverdientijd heeft van ongeveer 5 jaar terwijl de andere twee configuraties bijna 10 jaar nodig hebben om zich terug te verdienen. Belangrijk op te merken is dat er nog geen duidelijkheid is over het meest geschikte materiaal voor met name de regenerator condities.

2.4 Absorber unit metingen in het lab

Er is bij ECN een opstelling gebouwd voor het bepalen van de prestaties van de absorber unit. Deze opstelling bestaat uit een buis waarin een droogmiddel en lucht onder gewenste condities kunnen worden gemengd en het effect op de temperatuur gemeten. De metingen zijn uitgevoerd met CaCl₂-oplossing, een milder droogmiddel, en lagere temperaturen omdat dit aanzienlijk veiliger is dan hoge temperaturen in combinatie met sterke zuren. De sorptie-warmte-effecten zullen ook onder deze condities optreden.

De metingen lieten zien dat er sprake is van een temperatuur toename en een sterke afname van de relatieve vochtigheid van de drooglucht, beide zoals gewenst. De effecten waren echter minder dan verwacht op basis van onze modelberekeningen en de literatuurgegevens. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen wat hieraan ten grondslag ligt.



Figuur 2 Links foto van de absorber unit opstelling, rechts schematische weergave.

3. Knelpunten en toepassingsperspectief

Op basis van de metingen, de modelberekeningen en kostenschattingen zijn een aantal knelpunten geïdentificeerd en heeft een beeld opgeleverd met betrekking tot de potentie van de EELS technologie.

De knelpunten hebben met name betrekking op het droogmiddel. Het gebruik van een geconcentreerd zuur in combinatie met hoge temperatuur vereist materialen die zeer goed bestand zijn tegen corrosie. Hoewel dit met sommige exotische materialen mogelijk te ondervangen is, lijkt er vooralsnog geen materiaal te vinden dat corrosie-bestendigheid bij hoge temperatuur combineert met een acceptabel prijsniveau. Kostenschattingen op basis van Hastelloy-C, een staalsoort die grofweg vijfmaal duurder is dan normaal koolstofstaal, tonen een terugverdientijd van 5 tot 10 jaar, afhankelijk van de gekozen configuratie. Daarnaast is er verdere optimalisatie nodig van het absorber ontwerp om te komen tot voldoende temperatuurstijging en het beperken of voorkomen van het meenemen van het droogmiddel in de geregenereerde drooglucht.

Het toekomstperspectief van het EELS concept voor toepassing in sproeidrogen van melk en vergelijkbare producten hangt dus sterk af van de beschikbare materialen. Voor droogprocessen die onder gunstigere condities, zoals lagere temperaturen en/of hogere luchtvochtigheden, worden bedreven, zijn er andere droogmiddelen beschikbaar die minder zware eisen stellen aan de materialen. Een alternatief voor vloeistof sorptie is vaste stof sorptie. Deze kent echter zijn eigen uitdagingen zoals het terugwinnen van voelbare warmte uit vaste stof en het inpassen van het batch-gewijze vaste stof sorptie proces in het continue sproeidroog proces.

4. Bijdrage aan doelstelling van de regeling

4.1 Verduurzaming energiehuishouding

Met behulp van het voorgestelde vloeistof sorptie proces kan 60 tot nagenoeg 100% van de latente warmte van droogprocessen worden teruggewonnen. Hiermee kan het energiegebruik van droogprocessen significant worden verlaagd. De focus in dit project lag op sproeidroogprocessen maar ook bij diverse andere convectieve droogprocessen kan sorptiedrogen tot significante energiebesparing leiden.

4.2 Versterking kennispositie

In het project is samengewerkt tussen eindgebruikers, materiaalleveranciers, systeemontwikkelaars en de kennisinstituten. In deze opzet is kennis op het gebied van energie-efficiënt sorptie-drogen opgebouwd, onderling gedeeld vanuit de diverse invalshoeken en daarmee versterkt. De opgebouwde kennis rondom sorptie-drogen is verzameld in de ontwikkelde rekentools voor beoordeling van de economische haalbaarheid en voor het ontwerp van sorptie droog systemen. Verder is een goed inzicht verkregen in de stand van de techniek van corrosiebestendige materialen.

4.3 Spin-off binnen en buiten de sector

Het EELS project is opgevolgd door het IDEA project. In dit project wordt door ECN, Bronswerk Heat Transfer en Cargill een sorptie droogstelsel op kW-niveau ontwikkeld. Een keuze voor vaste stof sorptie of vloeistof sorptie zal onderdeel zijn van dit project.

5. Publicaties

Over het EELS project zijn de volgende openbare publicaties verschenen:

Nieuwsberichten

- ISPT Newsletter October 2015
- ISPT Newsletter January 2017
- ECN Nieuws November 2015

Website

eels.ecn.nl

\\Ecn\groups\g_bee_projects\53693 EELS\Reports & Notes & Memo's\Reports\eels.ecn.nl

Conferentie/workshop bijdragen

- Februari 2017, excursie/workshop Nederlandse Werkgroep Drogen (NWGD), Roermond.
- Mei 2017, presentatie International Energy Agency Heat Pump Conference (IEA-HPC 2017), Rotterdam.
- November 2017, Seminar TU Berlin, Berlijn.

Wetenschappelijke publicaties

Diego Pineda Quijano, Michel van der Pal, Carlos Infante Ferreira, Robert de Boer, Jasper Vollenbroek, *Heat recovery in milk powder drying by using a liquid sorption process*, paper IEA-HPC, 2017.

Voor vragen over het EELS project wendt u zich tot Michel van der Pal, ECN.

vanderpal@ecn.nl, tel. 088 515 4837.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.



Energy research Centre of the Netherlands

Postbus 1

1755 ZG PETTEN

Contact

088 515 4949

info@ecn.nl

www.ecn.nl