

Modelmatige ondersteuning bij ontwerp droogproces

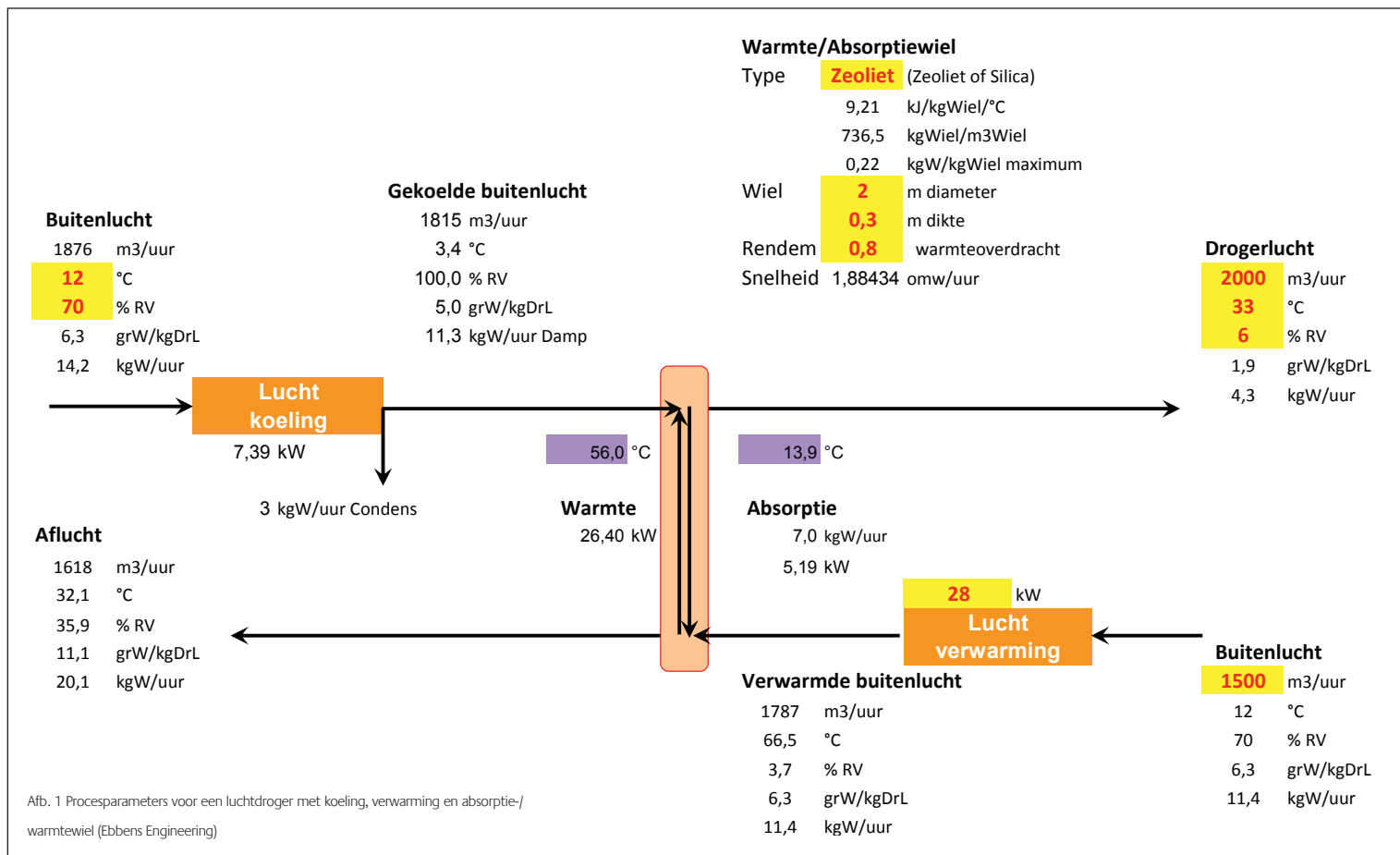
Modellering van droogprocessen kan inzicht verschaffen in de respons van een te drogen materiaal op een gegeven drooginstallatie en de gekozen procescondities. Een model kan daarbij onder andere fungeren als hulpmiddel bij het procesontwerp en de procesoptimalisatie en als raamwerk voor kwalitatieve en kwantitatieve beschouwingen van een droogproces.

onder meer tot verdieping van fysisch begrip en inzicht en bijvoorbeeld de identificatie van bottle necks

Een modelmatige aanpak vereist een passende simplificatie van de complexe werkelijkheid. Daarom is het van groot belang vooraf duidelijk te maken voor welke doeleinden een rekenmodel gewenst is. Modellen kunnen worden opgezet met elke gewenste graad van fysische en geometrische detaillering. Het is de kunst om een goede balans te vinden tussen de relevante aspecten van de fysische realiteit en de mogelijkheden voor de numerieke implementatie van het model. Verder is het van belang na te gaan in hoeverre de gewenste fysische eigenschappen beschikbaar zijn en welke additionele inspanningen hiervoor nog nodig zijn. Te

Modellering en softwarematige implementatie van rekenmodellen ten behoeve van droogprocessen kunnen inzicht verschaffen in de respons van een zeker te drogen materiaal op de gekozen apparatuur en de gekozen procescondities. Een fysisch relevant rekenmodel kan fungeren als:

- hulpmiddel bij procesontwerp en procesoptimalisatie
- hulpmiddel bij het kiezen van de juiste experimenten in de pilot-fase
- basis voor procesregeling
- raamwerk voor discussie bij kwalitatieve en (semi-)kwantitatieve beschouwingen van een droogproces; dit leidt



denken valt hier met name aan thermische eigenschappen, sorptie-isothermen en droogcurven. Bij de numerieke implementatie van een model dient ook bijzondere aandacht te worden geschonken aan een gebruikersvriendelijke 'interface'. Verder blijkt dat vele droogprocessen, ook binnen een bepaald type, toch vrij uniek zijn. Dit betekent dat algemene en bestaande modellen relatief gemakkelijk aan een nieuwe situatie kunnen worden aangepast. Deze gewenste flexibiliteit wordt vooral tegengewerkt door de numerieke algoritmen, die sterk afhangen van het stelsel wiskundige vergelijkingen met bijbehorende begin- en randvoorwaarden. Dat aanpassen blijkt meestal niet zo eenvoudig te zijn, maar het is niet onmogelijk. Een goed vertrekpunt zou zijn om voor bepaalde typen drogers (trommeldrogers, fluid bed-drogers, banddrogers e.d.) een basismodel te definiëren, dat steeds als vertrekpunt voor verdere aanpassing en detaillering kan worden gebruikt.

Excel met VBA

Er zijn diverse software-platforms die voor de implementatie van fysisch/mathematische modellen in aanmerking komen. Echter de kosten hiervan kunnen aanzienlijk zijn, wegens hoge jaarlijks te betalen licentierechten (denk bijv. aan Aspen). In het kader waarbinnen Ebbens Engineering opereert zijn er ook relatief goedkope platforms te duiden, zoals Excel met Visual Basics for Applications (VBA), Matlab en Mobatec Modeller. Voor het overgrote deel van de eindgebruikers zal Excel het meest vertrouwd zijn, daar dit platform aanwezig is op vrijwel elk computersysteem dat onder Windows werkt. Verrassend veel complexe droogmodellen zijn via gestructureerd programmeren in Excel VBA op uitstekende wijze numeriek te implementeren.

Atmosferisch vriesdrogen

Ebbens Engineering is samen met DLO/Wageningen Universiteit & Research betrokken bij een EU-FP7 project genaamd 'SecureFish' (www.securefish.net). Dit project is gericht op het duurzaam verwerken van verse vis in ontwikkelingslanden, waarbij Ebbens Engineering zich specifiek richt op het ontwikkelen van apparatuur voor het atmosferisch vriesdrogen van vis. In het SecureFish-project is Drying Dutchman Engineering ingeschakeld, niet alleen om de rapportages naar

de Europese projectleider te verzorgen, maar ook om, via fysische modellering van het atmosferisch vriesdroogproces, het procesontwerp en de procesoptimalisatie te ondersteunen. Dit model is gebaseerd op simultane warmte- en stofoverdrachtsverschijnselen en gaat ervan uit dat binnen de bevroren vis (slechts enkele graden onder het vriespunt) een uniform terugtrekkend ijsfront bestaat. Waterverdamping (beter gezegd: ijs-sublimatie) vindt plaats aan dit ijsfront en de gevormde waterdamp diffundeert via de poreuze droge buitenlaag naar de omringende lucht en wordt daar afgevoerd.

Scenario's

Het model is in Excel VBA geïmplementeerd en maakt de berekening mogelijk van het vochtgehalte en de temperatuur van de vis als functies van tijd. Bij gegeven dikte van de te drogen vis en de gekozen procescondities kan de benodigde droogtijd worden berekend. Met andere waarden voor de nog vrije parameters kunnen diverse scenario's worden doorgerekend om vast te stellen wat het effect op bijvoorbeeld de droogtijd en het temperatuurverloop van de vis is. Uit dergelijke berekeningen blijkt dat tijdens het vriesdroogproces de temperatuur van de vis geleidelijk aan begint op te lopen en zelfs boven het vriespunt kan komen. Dit is toe te schrijven aan een steeds dikker wordende poreuze buitenlaag, welke niet in gelijke verhoudingen doorwerkt in de toename van weerstanden voor warmte- én stoftransport. Om de visteremperatuur tijdens het gehele droogproces onder het vriespunt te houden, laat het model zien dat dan de luchttemperatuur lager dan 5°C en de absolute vochtigheid van de lucht lager dan circa 0,7 gram water/kg

Temperatuur ingaande lucht is 5 °C	
Luchtvochtigheid g water/kg droge lucht	Natte bol temperatuur °C
3	+1,62
2	+0,10
1	-1,87
0,5	-2,73
0	-3,61

Afb. 2 Met een droge, ingaande drooglucht kan de natte bol temperatuur zelfs beneden het vriespunt liggen

droge lucht moeten zijn. Er is een sterke invloed van de dikte van de laagjes vis op de benodigde droogtijd. Bij een typische laagdikte van 3-4 mm zijn droogtijden van 10-15 uur te verwachten. Binnenkort zal het model in de praktijk worden getoetst en eventueel worden aangepast. De resultaten van reeds uitgevoerde voorlopige metingen stemmen daarbij hoopvol.

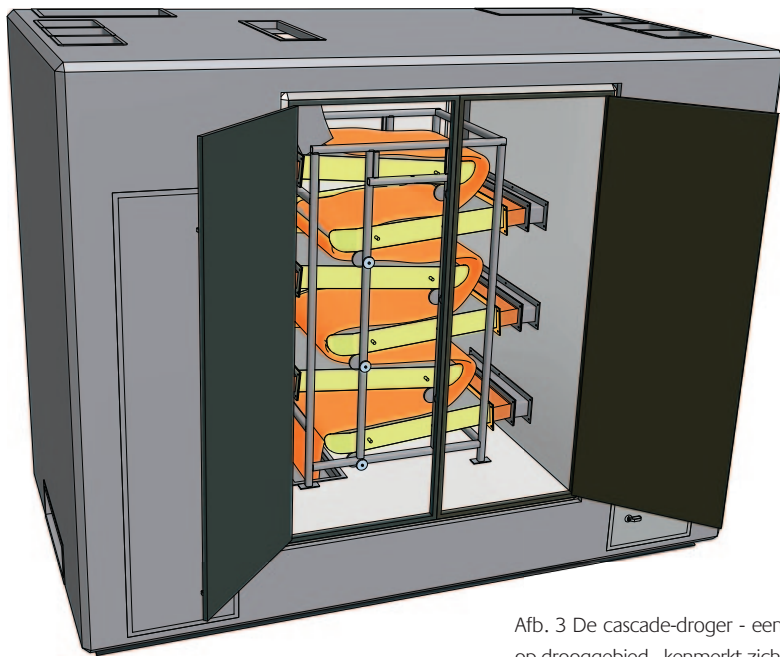
Het zal duidelijk zijn dat modellering middels knippen en plakken kan worden geoptimaliseerd door verdere doorkoppeling aan luchtbehandelingssystemen welke benodigd zijn voor het realiseren van luchtcondities met lage vochtgehaltes en lage temperaturen voor mild drogen. In deze aanvullende modellering kan gelijktijdig het energieverbruik in kaart worden gebracht in combinatie met het gekozen absorptie-materiaal (lithiumchloride, silicagel en zeoliet).

Cascade-droger

Een geheel nieuwe ontwikkeling in de wereld van droogtechniek is de cascade-

ONTWIKKELING IN VRIESDROOGPROCES

Het klassieke vriesdroogproces, dat plaatsvindt bij zeer lage drukken ('vacuüm') en lage temperaturen (typisch 20 tot 30 graden beneden het vriespunt) vereist hoge investeringen maar leidt ook tot producten met een hoge kwaliteit, zoals een uitstekende rehydrateerbaarheid en behoud van temperatuur- en zuurstofgevoelige componenten. Wereldwijd is er een trend naar een 'bio-based economy', waarbij ook vele gevoelige bio-producten zullen moeten worden gedroogd. Het behoud van de productkwaliteit is daarbij een eerste vereiste. Daarom wordt mondiaal veel onderzoek verricht naar mildere en goedkopere droogtechnieken, zoals het atmosferisch vriesdrogen. Hierbij dient de ingaande drooglucht een zo laag mogelijke vochtigheid te hebben. Immers, dan zal ook de natte bol temperatuur laag zijn en zelfs beneden het vriespunt kunnen liggen (afb. 1). Ebbens Engineering, specialist in droogsystemen, houdt zich nadrukkelijk met deze ontwikkelingen bezig.



Afb. 3 De cascade-droger - een nieuwe ontwikkeling op drooggebied - kenmerkt zich door een uitstekende beheersbaarheid van het droogproces

droger van Ebbens Engineering (afb. 2). Deze installatie kan qua procesvoering worden geplaatst tussen de fluid bed-droger en batchdroger. De installatie is inzetbaar voor de milde droging van granulaten en zaadgoed met uniforme deeltjesgrootte. Het transport van het product vindt plaats van boven naar beneden middels zwaartekracht en is afhankelijk van de hellingshoek van de plateaus en de blaasrichting van de lucht. De verblijftijdspreading en de gemiddelde verblijftijd zijn zeer nauwkeurig te beheersen. In de cascade-droger kunnen temperatuur en RV (afhankelijk van temperatuur) per zone worden ingesteld. De droger is dankzij grote deuren goed toegankelijk, zowel aan de voor- als de achterzijde. Dit betekent dat de installatie eenvoudig reinigbaar is en productwisselingen snel kunnen worden uitgevoerd.

Trommel-batchdroger

Klantvragen brachten Ebbens Engineering er toe om in 2006 een rekenmodel te maken voor trommeldrogen. In aansluiting hierop is een 'design tool' ontwikkeld voor het optimaliseren van de dimensionering van de transportschoepen (flights) in de trommel bij een gewenste 'hold-up'.

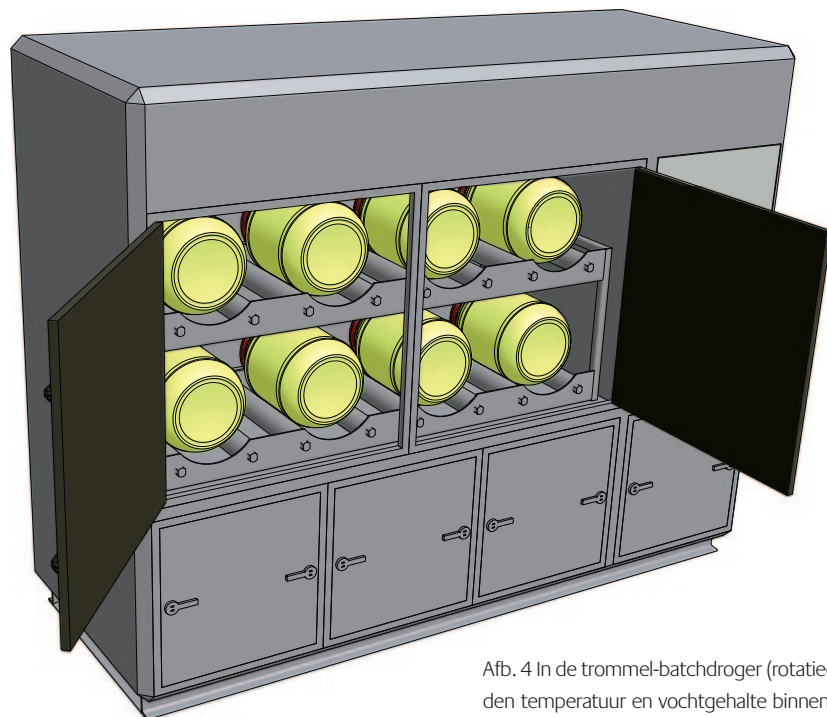
het batchgewijs drogen van kleinere partijen middels rotatie. Het gaat daarbij om kleine trommels waarbij het axiaal transport en de flights van ondergeschikt belang zijn. De trommel-batchdroger (of rotatiedroger, afb. 3) bestaat uit twee tot tien kleine trommels waarin het product wordt gerooteerd. Het droogproces kan uren tot zelfs dagen in beslag nemen. De essentiële parameters, zoals temperatuur en vochtgehalte, worden hierbij binnen zeer nauwkeurige grenzen bestuurd.

Resumerend kan worden gesteld dat modellering en verbetering van procescondities in combinatie met geschikte apparatuur en een optimale besturing de voorwaarden zijn voor productverbetering en energiebesparing, en dat deze voorwaarden daarmee een impuls zijn voor de Nederlandse machinebouw. **BULK**

Het rekenmodel wordt gevoed met gegevens over onder andere de rotatiesnelheid, trommeldiameter en de storthoek van het product. Een vervolgvraag betrof

Ing. Henk ter Stege, Ebbens Engineering Ingenieursbureau BV, Lochem (henkterstege@ebbens.nl)

Dr ir W. Jan Coumans, Drying Dutchman Engineering, Weert (w.j.coumans@ziggo.nl)



Afb. 4 In de trommel-batchdroger (rotatiedroger) worden temperatuur en vochtgehalte binnen zeer nauwkeurige grenzen bestuurd